

**SISTEMA DE INSONORIZACIÓN EN MATERIALES RENOVABLES PARA  
VIVIENDAS EN BOGOTÁ**

**RAMIRO DE JESUS GLORIA LAMBRÑO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
MODALIDAD PROYECTO DE GRADO  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

**SISTEMA DE INSONORIZACIÓN EN MATERIALÁS RENOVABLES PARA  
VIVIENDAS EN BOGOTA**

**RAMIRO DE JESUS GLORIA LAMBRAÑO**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero civil**

**Director**

**Edgar Ricardo Monroy Vargas PhD**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
MODALIDAD PROYECTO DE GRADO  
BOGOTÁ D.C.**

**2017**



## Atribución-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-SA 2.5)**  
Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/co/>

### Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**Compartir bajo la Misma Licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá, \_\_, \_\_\_\_\_, 2017**

## CONTENIDO

RESUMEN (ABSTRACT) .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
1. GENERALIDADES .....	4
1.1. ANTECEDENTES.....	4
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.2.1. Formulación del problema.....	5
1.2.2. Descripción del problema.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. Objetivo general. ....	6
1.3.2. Objetivos específicos. ....	6
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	7
1.5. DELIMITACIÓN .....	9
1.5.1. Espacio. ....	9
1.5.2. Tiempo. ....	9
1.5.3. Contenido.....	9
1.5.4. Alcance. ....	9
1.6. MARCO DE REFERENCIA .....	10
1.6.1. Marco teórico. ....	10
1.6.2. MARCO CONCEPTUAL .....	12
1.7. METODOLOGÍA.....	13
1.7.1. Tipo de estudio.....	13
1.7.2. Fuentes de información.....	13
2. DISEÑO METODOLÓGICO .....	14
CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO .....	14
1.1. EMISION DE RUIDO .....	14
1.1.1. Fuentes de ruido. ....	14
1.1.2. Marco legal de emisión de ruido. ....	19
1.1.3. Emisión de ruido en la ciudad de Bogotá.....	27
1.2. IMPLICACIONES DEL RUIDO EN LAS PERSONAS.....	32

1.2.1. Salud.....	32
1.2.2. Sueño.....	38
CAPITULO 2: SISTEMAS DE INSONORIZACIÓN.....	42
2.1. ACÚSTICA EN LA CONSTRUCCIÓN.....	42
2.1.1. Aislamiento acústico.....	42
2.1.2. Absorción acústica.....	43
2.1.3. Reflexión acústica.....	44
2.2. SISTEMAS DE INSONORIZACIÓN.....	45
2.2.1. Sistemas absorbentes.....	45
2.2.2. Sistemas aislantes.....	46
2.2.3. Sistemas complementarios.....	47
2.3. MATERIALES.....	50
2.3.1. Lanas Minerales.....	53
2.3.2. Tableros de madera de alta densidad.....	53
2.3.3. Bloques de arcilla.....	54
2.3.4. Espumas plásticas.....	54
2.3.5. Placas de yeso laminado (PYL).....	55
2.3.6. Aglomerado de corcho y corcho proyectado.....	55
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE SISTEMA DE INSONORIZACIÓN APLICABLE.....	56
3.1. MUROS DIVISORIOS INTERIORES.....	57
3.1.1. Sistema de insonorización 1.....	57
3.2. ELEMENTOS DE SEPARACIÓN VERTICAL.....	59
3.2.1. Sistema de insonorización 2.....	59
3.2.2. Sistema de insonorización 3.....	61
3.3. ELEMENTOS DE SEPARACIÓN VERTICAL ESTRUCTURALES.....	63
3.3.1. Sistema de insonorización 4.....	64
3.3.2. Sistema de insonorización 5.....	65
3.4. FACHADAS.....	67
3.4.1. Sistema de insonorización 6.....	67
3.5. SISTEMAS DE INSONORIZACIÓN COMPLEMENTARIOS (RECOMENDADOS).....	69

3.5.1. Insonorización en ventanas.....	69
3.5.2. Insonorización en puertas. ....	69
3.5.3. Insonorización en pisos y techos.....	69
3.5.4. Insonorización en cubiertas.....	69
3.6. COSTOS.....	69
3.6.1. Costo de muro tradicional. ....	70
3.6.2. Costos de materiales de insonorización.....	70
3.6.3. Evaluación de sobrecostos en implementación de sistemas de insonorización en vivienda.....	72
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA .....	78

## LISTA DE TABLAS

	Pag.
TABLA 1: RESULTADOS DE ALGUNOS ESTUDIOS DE LABORATORIO SOBRE DIFERENTES NIVELES DE ALGUNOS PARÁMETROS BIOLÓGICOS ENTRE PERSONAS EXPUESTAS Y NO EXPUESTAS AL RUIDO. ....	36
TABLA 2: ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL RUIDO SOBRE LA MORTALIDAD EN MADRID SEGÚN DIFERENTES CAUSAS EN EL GRUPO DE MAYORES DE 65 AÑOS. LOS IMPACTOS SE REFIEREN A VARIACIONES DE 0,5 DB(A) PARA EL CASO DEL RUIDO Y DE 10 MG/M3 PARA EL DE PM2,5..	38
TABLA 3: CLASIFICACIÓN DE MATERIALES AISLANTES .....	51
TABLA 4: COSTO DE MAMPOSTERÍA POR M <sup>2</sup> AÑO 2017.....	70
TABLA 5: COSTO DE M <sup>2</sup> DE AISLAMIENTO CON AGLOMERADO DE CORCHO, ESPESOR DE 25MM .....	71

## LISTA DE CUADROS

	Pag.
CUADRO 1: PORCENTAJE DE RUIDO PRODUCIDO POR LAS FUENTES ESPECIFICAS EN BOGOTÁ.....	15
CUADRO 2: NIVELES RECOMENDADOS POR LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD .....	20
CUADRO 3: ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES DE NIVELES DE EMISIÓN DE RUIDO EXPRESADOS EN DECIBELES DB(A) .....	23
CUADRO 4 CRITERIO EPA PARA RUIDO NOCTURNO EN INTERIORES.....	25
CUADRO 5: CRITERIO EPA PARA RUIDO DIURNO EN INTERIORES .....	26
CUADRO 6: MICROAMBIENTES INCLUIDOS EN EL ESTUDIO. ....	27
CUADRO 7: RESULTADOS DE PRESIÓN SONORA EN MEDICIONES DE RUIDO AMBIENTAL.....	28
CUADRO 8: EFECTOS SOBRE LA SALUD AUDITIVA CAUSADOS POR LA EXPOSICIÓN AL RUIDO.....	33
CUADRO 9: EFECTOS Y UMBRALES PARA LOS QUE EXISTE EVIDENCIA SUFICIENTE .....	40
CUADRO 10: EFECTOS Y UMBRALES PARA LOS QUE EXISTE EVIDENCIA LIMITADA .....	41
CUADRO 11: INCREMENTOS EN LOS PRECIOS DE COMPRA-VENTA Y ALQUILER PARA COMPENSAR EL SOBRECOSTE DE PRODUCCIÓN DE VIVIENDAS INSONORIZADA (DB-HR EN RELACIÓN AL NBE-CA-88) .....	73



## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA 1: MARCO CONCEPTUAL.....	12
FIGURA 2: PRINCIPALES FUENTES DE RUIDO EN AMBIENTES URBANOS ..	14
FIGURA 3: FUENTES DE RUIDO POR TRÁFICO COMPARATIVO CON LOS PRINCIPALES EMISORES DE RUIDO AMBIENTAL .....	17
FIGURA 4: FUENTES DE RUIDO INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ COMPARATIVO CON LAS PRINCIPALES FUENTES DE RUIDO.....	18
FIGURA 5: MAPA DE RUIDO DIURNO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. ....	30
FIGURA 6: MAPA DE RUIDO NOCTURNO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.....	31
FIGURA 7: MECANISMOS BIOLÓGICOS IMPLICADOS EN LOS EFECTOS NO AUDITIVOS DEL RUIDO .....	34
FIGURA 8: ONDAS SONORAS EN ESTRUCTURA AISLANTES.....	43
FIGURA 9: AISLAMIENTO ACÚSTICO EN VENTANAS.....	48
FIGURA 10: MUROS DIVISORIOS INTERIORES EN VIVIENDA.....	57
FIGURA 11: SISTEMA DE INSONORIZACIÓN 1.....	58
FIGURA 12: ELEMENTOS DE SEPARACIÓN VERTICAL .....	59
FIGURA 13: SISTEMA DE INSONORIZACIÓN 2.....	60
FIGURA 14: SISTEMA DE INSONORIZACIÓN 3.....	62
FIGURA 15: ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE SEPARACIÓN VERTICAL ...	63
FIGURA 16: SILUETA DE MURO ESTRUCTURAL .....	63
FIGURA 17: SISTEMA DE INSONORIZACIÓN 4.....	65
FIGURA 18: SISTEMA DE INSONORIZACIÓN 5.....	66
FIGURA 19: FACHADAS .....	67
FIGURA 20: SISTEMA DE INSONORIZACIÓN 6.....	68
FIGURA 21: DISTRIBUCIÓN DE RESPUESTAS DE DISPOSICIÓN DE IMPLEMENTAR SISTEMAS DE INSONORIZACIÓN EN VIVIENDA .....	74

## Glosario de siglas

**L<sub>eq</sub>**: Nivel equivalente durante la medición

**L<sub>eq24</sub>**: Nivel equivalente durante 24 horas

**L<sub>eq4</sub>**: Nivel equivalente durante 4 horas

**L<sub>eqA</sub>**: Nivel equivalente con compensación de frecuencia A

**L<sub>eqC</sub>**: Nivel equivalente con compensación de frecuencia C

**L<sub>max</sub>**: Máximo nivel con una dada respuesta (rápida, lenta o impulsiva)

**Peak**: Máximo nivel instantáneo

**fast**: Respuesta con una constante de tiempo de .125 s

**slow**: Respuesta con una constante de tiempo de 1 s.

**SPL**: Nivel de presión sonora

**dBA**: Decibel compensación A

**dBC**: Decibel compensación C

**S/N**: Relación señal / ruido, en general en dB

**T<sub>rev</sub>**: Tiempo de reverberación (tiempo que demora el sonido en extinguirse al cesar la fuente)

**L<sub>eq Δt</sub>**: presión sonora continuo equivalente

**L<sub>p</sub>**: presión sonora en cada intervalo de tiempo

**L<sub>a, max</sub>**: presión sonora máximo registrado

**L<sub>a, min</sub>**: presión sonora mínimo registrado

**L<sub>pico</sub>**: Valor pico

**L<sub>90</sub>, L<sub>50</sub>, L<sub>10</sub>**: percentiles estadísticos (siendo L<sub>90</sub> correspondiente al ruido de fondo en ausencia de fuentes cercanas)

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN  
- RAE -**

**FACULTAD INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.**

**LICENCIA CREATIVE COMMONS:** “Atribución compartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-SA 2.5).

**AÑO DE ELABORACIÓN:** 2017

**TÍTULO:** SISTEMA DE INSONORIZACIÓN EN MATERIALES RENOVABLES PARA VIVIENDAS EN BOGOTÁ.

**AUTOR:**

Ramiro de Jesús GLORIA LAMBRAÑO

**DIRECTOR(ES)/ASESOR(ES):**

Edgar Ricardo Monroy Vargas

**MODALIDAD:**

Trabajo de investigación.

**PÁGINAS:**  **TABLAS:**  **CUADROS:**  **FIGURAS:**  **ANEXOS:**

## **CONTENIDO:**

### INTRODUCCIÓN

#### 1. GENERALIDADES

#### 2. DISEÑOS METODOLÓGICO

#### CAPITULO 1: DIAGNÓSTICO

#### CAPITULO 2: SISTEMAS DE INSONORIZACIÓN

#### CAPITULO 3: DISEÑO DE SISTEMA DE INSONORIZACIÓN APLICABLE

#### 3. CONCLUSIONES

#### BIBLIOGRAFÍA

**DESCRIPCIÓN** El presente trabajo contiene la información necesaria para plantear las necesidades por las cuales se debe implementar un sistema de insonorización en viviendas, así como la normativa y problemática de ruido en el mundo enfocándose en la ciudad de Bogotá; además se cuenta con la información necesaria para conocer el tema de aislamiento acústico enfocándose en los distintos sistemas de insonorización y materiales utilizados dando a conocer cuáles son los más óptimos para el cuidado del medio ambiente. Con la información presentada se pueden hacer diseños teóricos de distintos sistemas de insonorización para vivienda que reemplacen la mampostería no estructural y ayuden a realizar un aislamiento acústico en los elementos estructurales.

**METODOLOGÍA** El trabajo fue netamente investigativo utilizando distintos tipos de bibliografía (física y electrónica).

#### **PALABRAS CLAVE:**

RUIDO, CONTAMINACIÓN, AISLAMIENTO, AMBIENTE, MATERIALES SOSTENIBLES.

#### **CONCLUSIONES:**

- Se plantean sistemas de insonorización con materiales sostenibles (aunque se requieren otros materiales que complementen estos sistemas en algunos casos)

en muros de viviendas tanto unifamiliares como multifamiliares los cuales pueden reemplazar la mampostería no estructural y complementar los elementos estructurales de las mismas sin afectar la estructura de ningún modo. Los sistemas son adaptables a cualquier tipo de vivienda y espacio, así como pueden mitigar parcial o totalmente las ondas de sonido brindando así un aislamiento acústico que haga cumplir las distintas normativas de ruido permisible, brindando de este modo un mejoramiento en la calidad de vida de los habitantes de las viviendas.

- La ciudad de Bogotá se encuentra ante una problemática de ruido preocupante debido a que, en la mayor parte de esta, las emisiones de ruido superan en gran medida a las normativas y recomendaciones estipuladas, afectando de modo gradual a los habitantes de la ciudad en la mayoría de horas del día, siendo las áreas más vulnerables las que se encuentran cercanas a sectores de alto tráfico, tanto vehicular como aéreo, y sectores comerciales. Por lo tanto, se debe implementar medidas de regulación acústica, y ya que en muchos casos las medidas de regulación mediante autoridades ambientales no pueden ser impuestas por la dificultad de hacer efectivas las mismas, es necesario aplicar sistemas de aislamiento acústico en viviendas para de este modo prevenir repercusiones a corto y largo plazo en los habitantes de la ciudad.
- Hay todo tipo de sistemas de insonorización para viviendas, y cualquier tipo de espacios, que pueden ser conformados por materiales sostenibles y renovables los cuales según sus especificaciones técnicas cumplen de igual o mejor medida los requerimientos de aislamiento y absorción acústica que algunos materiales altamente contaminantes y mayormente utilizados. Los sistemas de insonorización cubren por completo cada aérea de las habitaciones que quieran contar con un completo aislamiento acústico tanto muros como pisos, techos, puertas, ventanas, mecanismos de servicio, etc., al igual que se puede realizar aislamiento acústico en las fachadas y cubiertas de las estructuras, todo esto mediante sistemas de insonorización amigables con el medio ambiente.
- Teóricamente se pueden realizar diseños de sistemas de insonorización con distintos niveles de complejidad que funcionan para el aislamiento acústico de las viviendas según las áreas que se requieran insonorizar; los sistemas de insonorización presentados cumplen con las especificaciones normativas tanto constructivas como ambientales, y pueden realizar variaciones de los mismos modificando dimensiones y materiales para lograr resultados esperados de aislamiento acústico y espacios arquitectónicos.
- En ciudades desarrolladas del mundo como Barcelona y Madrid, donde los problemas de ruido son realmente preocupantes la utilización de sistemas de insonorización es cada vez más común y requerida por sus habitantes, y sin importar el tema de sobrecostos que estos puedan generar la comunidad es más

consiente de la necesidad del cuidado de su salud ante la contaminación por ruido y por lo tanto un alto porcentaje de estas personas están dispuestas a pagar dichos sobre costos.

- El desarrollo del presente proyecto es el punto de partida hacia nuevas investigaciones que se pueden dar dentro del siguiente contexto:
  - Estudio técnico: mediante pruebas de laboratorio y pruebas in situ de distintos sistemas de insonorización realizando un análisis específico de:
    - Materiales no convencionales (sostenibles) y sus capacidades aislantes y/o absorbentes de ondas de sonido, además, de la resistencia de dichos materiales a factores como clima, ataques físicos y químicos y posibilidad de uso en condiciones extremas.
    - Materiales, producidos en Colombia, no convencionales (sostenibles) y sus capacidades aislantes y/o absorbentes de ondas de sonido, además, de la resistencia de dichos materiales a factores como clima, ataques físicos y químicos y posibilidad de uso en condiciones extremas.
    - Distintos diseños según requerimientos de edificaciones específicas y fuentes de ruido incidentes en estas.
    - Utilización de sistemas complementarios con materiales sostenibles.
  - Realización de una evaluación de costos y presupuestos: para la implementación de sistemas de insonorización en el país teniendo en cuenta precio de implementación de los sistemas, disponibilidad de adquisición de las personas, disponibilidad de aplicación de los sistemas de insonorización en edificios nuevos para las constructoras, beneficios y desventajas del precio de vivienda con respecto a la implementación de sistemas de insonorización, precios de los distintos materiales y análisis de costo y valor de materiales convencionales y materiales sostenibles o renovables.
  - Análisis estructural de los sistemas de insonorización teniendo en cuenta los siguientes factores:
    - Modificación en el peso de la estructura al cambiarse la mampostería no estructural por sistemas de insonorización, así como la utilización de sistemas complementarios.
    - Resistencia de los sistemas de insonorización para ser utilizados como elementos estructurales.
      - Utilización de sistemas de insonorización para la construcción de viviendas unifamiliares pequeñas y medianas.

- Utilización de sistemas de insonorización para uso estructural tales como muros estructurales, placas de entrepiso, entre otros.

## FUENTES:

- ACEVEDO, Jorge. Resumen del libro: El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una visión al 2040. *Revista de Ingeniería*, 2009, no 29, p. 156-162.
- AMAYA, Manuel y ANGEL, Carlos. Estado del Ambiente en Bogotá D.C. Línea Base Ambiental 2008. Secretaria Distrital de Ambiente, 2008. Pag 37-57.
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES ESPAÑOLES DE LANAS MINERALES AISLANTES (AFELMA). Diez Razones para utilizar las lanas minerales. Tambre, 2128002 Madrid.
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES ESPAÑOLES DE LANAS MINERALES AISLANTES (AFELMA). El ABC técnico del ruido. 2 ed. Madrid: AFELMA, 2001. 36 p.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE MATERIALES AISLANTES (ANDIMAT). Soluciones de Aislamiento Acústico. Madrid. Junio de 2009
- BELOJEVIC G, JAKOVLJEVIC B, ALEKSIC O. Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits. *Environ. Int.* 1997; 23:221–6.
- BERGLUND, Birgitta; LINDVALL, Thomas (ed.). *Community noise*. Stockholm: Center for Sensory Research, Stockholm University and Karolinska Institute, 1995.
- BERGLUND, Birgitta, et al. Guías para el ruido urbano. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS*, 1999.
- BRESSIANI, Ricardo [et al.]. 2010. Techos de última generación para edificaciones exigentes, Construdata, Materiales y construcción. ISSN 2322-6552. Disponible en: [http://www.construdata.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/BancoConocimiento/T/techos\\_de\\_ultima\\_generacion\\_para\\_edificaciones\\_exigentes/techos\\_de\\_ultima\\_generacion\\_para\\_edificaciones\\_exigentes.asp](http://www.construdata.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/BancoConocimiento/T/techos_de_ultima_generacion_para_edificaciones_exigentes/techos_de_ultima_generacion_para_edificaciones_exigentes.asp)

- BRIEDE, J.; ALARCÓN, Jimena. Estrategias sustentables aplicadas al contexto regional: diseño de tableros de madera y materias primas no convencionales para revestimiento decorativo. *Interciencia*, 2012, vol. 37, no 12, p. 927-933.
- BROOKHOUSER, P.E., WORTHINGTON, D.W. "*Noise-Induced Hearing Loss in Children*". *Laryngoscope*, 1992; 102; pp.645-655
- CAMACHO, Claudia [et al.]. 2009. Terrazas ecológicas, ciudades que respiran, Construdata, Diseños y proyectos. ISSN 2322-6552. Disponible en: [http://www.construdata.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/BancoConocimiento/T/terrazas\\_ecologicas/terrazas\\_ecologicas.asp](http://www.construdata.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/BancoConocimiento/T/terrazas_ecologicas/terrazas_ecologicas.asp)
- CASAS GARCÍA, Oscar, Betancur Vargas, Carlos Mauricio y Montaña Erazo, Juan Sebastián. Revisión de la normatividad para el ruido acústico en. 1, Cali, Colombia: s.n., enero-junio de 2015, Entramado, Vol. 11, págs. 264-286.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Resolución 0627 (07, abril, 2006). donde se adopta la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.
- DE LA ROSA, Manuel. Ruido Industrial y Urbano. Madrid: s.n., 2000, Paraninfo, pág. 240.
- EBERHARDT, JL. The Influence of Road Traffic Noise on Sleep. *Journal of Sound and Vibration* 1988; 127(3):449-55.
- FERNÁNDEZ, Luis Velasco. *Estudio de la calidad de los aglomerados de corcho acústicos y vibráticos*. AITIM, 1974.
- GARCÍA, Nelson Afanador; GÓMEZ, Gustavo Guerrero; SEPÚLVEDA, Richard Monroy. Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2012, vol. 22, no 1, p. 43-58.
- GUÍA DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS, con placa de yeso laminado y lana mineral para el cumplimiento del CTE. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Consejo Superior de Investigación Científica (CSIC). Edición actualizada Julio de 2016. Madrid – España. 2016
- GUSKI, R. Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise Health* 1999; 1:45–56



- HELLMUT T, CLASSENS T, KHINR R, KEPHALOPOULOS S (eds). World Health Regional Office for Europe and European Commission. Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen: WHO Regional Publications; 2011
- HOBSON J, Scientific American Library, W.H. Freeman and Company; 1989.
- INTERNATIONAL PROGRAM ON CHEMICAL SAFETY; INTER-ORGANIZATION PROGRAMME FOR THE SOUND MANAGEMENT OF CHEMICALS; WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2009*. World Health Organization, 2010.
- JIMÉNEZ, Julio Díaz; GIL, Cristina Linares. Efectos en salud del ruido de tráfico: Más allá de las "molestias". *Revista de Salud Ambiental*, 2015, vol. 15, no 2, p. 121-131.
- MASCHKE C, RUPP T, HECHT K. The influence of stressors on biochemical reactions: a review of present scientific findings with noise. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2000; 203:45-53.
- MATIN MONROY, M. Propiedades Físicas de Materiales de Construcción. Gran Canaria. Departamento de construcción Arquitectónica. Gran Canaria: Editorial de Construcción Arquitectónica (editorial. dCA). 2008
- MELI PIRALLA, Roberto. Diseño estructural. *México: Limusa*, 1985.
- MELI, Roberto. Mampostería estructural. La práctica, la investigación y el comportamiento sísmico observado en México. *Cuaderno de Investigación*, 1994, no 17, p. 3-23.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Reglamento Colombiano de construcción sísmica resistente. NSR-10, Segunda actualización, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, 2010.
- NL. C. Transportation noise, sleep and possible after-effects. *Environ Int*: 1996; 22: 105-16
- NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH, et al. Noise and Hearing Loss Consensus Conference. *JAMA*, 1990, vol. 263, p. 3185-3190.

- PACHECO, José; FRANCO, Juan F.; BEHRENTZ, Eduardo. Caracterización de los niveles de contaminación auditiva en Bogotá: Estudio piloto. *Revista de ingeniería*, 2009, no 30, p. 72-80.
- PAUNOVIC K, JAKOVLJEVIC B, BELOJEVIC G. Predictors of noise annoyance in noisy and quiet urban streets. *Sci. Total, Environ.* 2009; 407:3707–11
- RAMIREZ GONZALEZ, Alberto and DOMINGUEZ CALLE, Efraín Antonio. EL RUIDO VEHICULAR URBANO: PROBLEMÁTICA AGOBIANTE DE LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO. *Rev. acad. colomb. cienc. exact. fis. nat.* [en línea]. 2011, vol.35, n.137 [2017-03-20], pp.509-530. Disponible en: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082011000400009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000400009&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0370-3908.
- RECIO, A., CARMONA, R., LINARES, C., ORTÍZ, C., BANEGAS, J.R., DÍAZ, J. Efectos del ruido urbano sobre la salud: estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid. Instituto de Salud Carlos III, Escuela Nacional de Sanidad: Madrid, 2016.
- ROMO OROZCO, J. M.; MARMOLEJO DUARTE, Carlos Ramiro; DAUMAL DOMÈNECH, Francesc de Paula. ¿Está compensado el sobrecoste de una mejor insonorización? Una evaluación para el mercado residencial barcelonés. *Ciudad y territorio, estudios territoriales*, 2016, vol. 48, no 189, p. 471-486.
- ROMO OROZCO, José M. Evaluación de los costes y beneficios de la implementación del aislamiento acústico en el mercado residencial de nueva planta en Barcelona. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC). Modalidad Tesis Doctoral, 2013
- ROUGERON, Claude. *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. Reverte, 1977
- SALINAS, Jorge. ACUSTICA ARQUITECTONICA.
- SOBREIRA SEOANE, Manuel A., ACUSTICA ARQUITECTONICA, implicaciones del CTE-DB HR y del reglamento de la ley del ruido. Sonitum, Universidad de Vigo, Vigo-España, 2006.
- SORIANO, Jaime Ramis, [et al.]. Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. En *Materiales de construcción*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 2010. p. 133-143.

- Spiegel K, Leproult R, Van Cauter E. Impact of sleep debt on physiological rhythms. *Rev. Neurol. (Paris)* 2003; 159(11 Suppl):6S11–20.
- Stanfeld S, Matheson M, Noise Pollution: non-auditory effects on health. *Br Medbull.* 2003; 68: 243-57
- Suater A. Noise and Its effects. Administrative Conference of the United States; 1991; Disponible en: <http://www.nonoise.org/library/suter/suter.htm#effects>
- TABOADA, Daniel Bernabéu. Efectos del Ruido sobre la Salud. *Documento: http://www.juristasruidos.org/Documentacion/Ruido\_y\_Salud.pdf*, 2007.
- TOBIÁS A, DÍAZ J, SÁEZ M, [et al.]. Use of Poisson regression and Box-Jenkins models to evaluate the short-term effects of environmental noise levels on daily emergency admissions in Madrid, Spain. *Eur. J. Epidemiol.* 2001; 17:765–71.
- TOBIÁS A, RECIO A, DÍAZ J, [et al.]. Noise levels and cardiovascular mortality: a case-crossover analysis. *Eur. J. Preven. Cardiology*, 2015; 22:496-502.
- TOBIÁS A, RECIO A, DÍAZ J, [et al.]. Does traffic noise influence respiratory mortality. *Eur. Resp. J.* 2014; 44:797-9.
- TOBIÁS A, DÍAZ J, RECIO A, [et al.]. Traffic Noise and Risk of Mortality from Diabetes. *Acta Diabetolog.* 2014; 52:187-8.
- TOBIÁS A, RECIO A, DÍAZ J, [et al.]. Health impact assessment of traffic noise in Madrid (Spain). *Environ. Res.* 2015; 137:136-40.
- UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA, facultad de arquitectura, diseño y urbanismo. Tablas de absorción [en línea]. Montevideo: Magdalena Deambrosi [2017-01-12]. Disponible en: <http://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/blogs.dir/27/files/2012/02/Tablas-de-Absorcion.pdf>
- URIBE FORERO, Tomas Fernando. Mampostería no estructural. 1 ed. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios. 2010. 64 p
- WHO, Guidelines for Community Noise. Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela ed. 1999
- XIE, Yongqun, et al. Manufacture and properties of ultra-low density fibreboard from wood fibre. *BioResources*, 2011, vol. 6, no 4, p. 4055-4066.

## RESUMEN (ABSTRACT)

En el presente estudio se examina la problemática de ruido urbano en viviendas para la ciudad de Bogotá, dando a conocer de este modo las afectaciones que este produce en las personas, así como las razones y zonas en las cuales el ruido es más incidente.

Esto se realizó con el fin lograr establecer la necesidad de la implementación de un sistema de insonorización para viviendas, que además de producir un cambio en la calidad de vida de las personas, reduciendo las afecciones a la salud que genera el ruido urbano, logre mitigar la huella ambiental que produce la construcción antigua y nueva en la ciudad, reemplazando los muros de mampostería no estructural por muros que generen un aislamiento acústico eficiente y se realicen en mayor medida con materiales sostenibles.

Mediante un trabajo de investigación se reconoce la problemática de ruido en la ciudad de Bogotá dando a conocer las mayores implicaciones de esta y demostrando que las medidas tomadas no han sido suficientes para mitigar dicha problemática, especificándose las mayores fuentes de ruido y la población más vulnerable ante este. Posteriormente se realiza una investigación enfatizada a las distintas metodologías y teoría acerca del aislamiento acústico para de este modo definir un sistema de insonorización que cumpla con todas las especificaciones del mismo; donde se incluyen datos importantes tales como aplicaciones previas, diseño de aislamiento, materiales y sistemas complementarios que ayuden al mejoramiento del aislamiento acústico en las viviendas tales como techos, pisos, ventanas, puertas y fachadas.

Al obtenerse toda la información se lleva a definir un sistema de insonorización adecuado utilizando materiales no convencionales que respondan a las necesidades generales de la población estudiada, dando como resultado distintos sistemas de insonorización, que cuentan en su mayor parte con materiales sostenibles, que pueden ser integrados en las viviendas, según los requerimientos generales de cada una, brindando un correcto aislamiento acústico y por lo tanto un mejoramiento a la calidad de vida de los habitantes.

**Palabras clave:** Ruido, Contaminación, Aislamiento, Ambiente, materiales sostenibles.

## INTRODUCCIÓN

El ruido en zonas urbanas ha venido presentando una problemática en incremento a través de los años, este se ha convertido en un importante factor de contaminación ambiental el cual afecta directamente a los habitantes de viviendas en las principales urbes alrededor del mundo, las personas que se encuentran afectadas por el ruido presentan afectaciones directas a su salud tanto física como mental lo cual genera alteración a la calidad de vida de las mismas.

Organizaciones y entidades tanto internacionales como nacionales, regionales, locales y privadas se han desempeñado en la labor de identificar las principales problemáticas de ruido, divulgando información como los niveles de ruido perjudiciales, las fuentes de ruido que afectan directa o indirectamente a las personas y haciendo guías o reglamentos los cuales permitan una regulación del ruido urbano enfocándose principalmente en la emisión y propagación del mismo.

En la ciudad de Bogotá, Colombia la problemática de ruido ha sido regulada mediante leyes nacionales adaptadas a la misma ciudad para de esta manera poder mitigar el problema de ruido urbano, sin embargo, tanto en Bogotá como en la mayoría de ciudades se ha reconocido que, aunque hay normativas que regulan y sancionan la emisión y propagación de ruido, estas son difíciles de ser aplicadas y en algunos casos no hay manera de hacer una regulación eficiente de la emisión de ruido, debido a la incapacidad de las autoridades de hacer una medición y control de ruido constantemente, principalmente en zonas residenciales. En algunos casos las fuentes de ruido simplemente no pueden ser mitigadas siendo la principal fuente la de tráfico (vehicular, aéreo y ferroviario)

Debido a la incapacidad de mitigar el ruido en ciertos lugares se han implementado sistemas de aislamiento acústico los cuales evitan tanto la entrada como salida de ondas de sonido entre estructuras permitiendo que el ruido pueda ser disipado. Los sistemas de insonorización, han sido aplicados principalmente en áreas comerciales, industriales o de uso privado las cuales son principalmente auditorios, empresas, algunas instituciones educativas, centros comerciales, centros recreativos, salones de eventos, entre otros. Sin embargo, la utilización de sistemas de insonorización en vivienda ha sido ignorada debido a su poca utilización en viviendas alrededor del mundo, así como el aumento de costos de construcción de vivienda.

Los sistemas de insonorización utilizados comúnmente también tienen un problema ambiental debido a que los productos más eficientes han mostrado ser dañinos para el medio ambiente, siendo actualmente las espumas plásticas los materiales más

utilizados y previamente a estas la utilización de plomo fue la más común para la realización de sistemas de insonorización.

Siendo las problemáticas ambientales un tema principal a tratar alrededor del mundo se ha buscado mitigar cualquier tipo de contaminación ambiental para mejorar tanto la calidad de vida de los seres humanos como de las distintas especies que habitan en el planeta tierra.

En el presente proyecto se busca mitigar los distintos problemas ambientales tanto de contaminación por ruido como por materiales de aislamiento acústico en la ciudad de Bogotá, Colombia; analizando los distintos sistemas de insonorización utilizados alrededor del mundo, así como los materiales aplicables para dichos sistemas, de este modo se propondrá un diseño eficiente que reduzca el ruido en vivienda y que a su vez sea sostenible dando como resultado un mejoramiento en la calidad de vida de la población afectada por el ruido urbano y mejorar las implicaciones negativas de la construcción de vivienda al medio ambiente.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES

La construcción de conjuntos residenciales y zonas de alta densificación urbana se remontan a la época de 1947 en el cual la ciudad contaba con más de 320.000 habitantes, lo cual llevó a la ciudad de Bogotá organizar el primero proyecto de expansión urbana, este proyecto fue dirigido por el arquitecto y urbanista Le Corbusier. Para el año 1951 la ciudad contaba con aproximadamente 620.000 habitantes, y el proyecto de expansión urbana ya estaba tomando forma con proyectos viales de alto impacto y residenciales de los cuales se destaca el proyecto urbanístico del Centro Urbano Antonio Nariño el cual fue el primer espacio residencial masivo en la ciudad de Bogotá. En los años posteriores se generaron grandes sucesos de alto impacto que contribuyeron al desarrollo y ampliación de la ciudad tales como el asesinato de Gaitán y la dictadura militar entre 1953 y 1957.

Con la alta densificación de la ciudad se fueron generando más conjuntos residenciales y zonas con alta densidad poblacional, las cuales requerían cada vez más en contar con áreas de dispersión y reuniones de las distintas comunidades. Dichos problemas de ruido normalmente se quedan como problemas internos de la comunidad y es realmente difícil conseguir registros de los problemas generados por el ruido los cuales se registran en actas de asambleas; el problema se ha buscado solucionar mediante la Ley 675 de 2001 régimen de propiedad horizontal en las secciones que hablan de ruido.

Como los anteriores se encuentran muchos casos similares relacionados al tema “*ruido*” que resultan en obligaciones de insonorización y siempre se ha buscado maneras de realizar las mismas siempre se ha manejado una tendencia de utilizar materiales adheridos a muros, pisos, paredes, techos, puertas, etc. Hace unos años el material más común utilizado para el aislamiento acústico era el plomo el cual, aunque ya se ha retirado y prohibido en la mayoría de estructuras sigue siendo un elemento perjudicial para quienes estén expuestos a él durante largos periodos de tiempo; así como este material fue utilizado para insonorización actualmente los polímeros derivados del petróleo son los materiales más utilizados para el aislamiento acústico. Tanto en épocas antiguas como en las presentes se han llegado a utilizar materiales contaminantes tanto para la salud de las personas que se encuentran en contacto con dichos materiales como para el medio ambiente por su difícil biodegradación o reutilización.

A finales del siglo XX, el ruido fue declarado como un agente contaminante por la OMS siendo esta la primera entidad en catalogar el ruido como un tipo de contaminación (WHO, 1972), lo que significó que se reconociera su capacidad de afectar la calidad de vida; se consideró que podría actuar adversamente en la salud y el bienestar de las personas, además de afectar la comunicación entre ellas, lo

que se reflejaría en el pleno disfrute de la propiedad. Al reconocer al ruido como agente contaminante se conceptualiza la contaminación acústica.

La Organización Mundial de la Salud a partir de 1999 desarrolló guías para el control de ruido urbano en las cuales se establecen marcos de acción para el control del mismo, en las guías presentadas se busca analizar los efectos del ruido urbano sobre la salud de las personas y de este modo dar orientación a las autoridades que busquen mejorar los efectos negativos generados en las personas.

Europa cuenta con los países con mayores problemáticas de ruido siendo España el segundo país con mayor contaminación por ruido, por lo tanto, se han realizado investigaciones enfocadas a la armonización de los métodos del cálculo y de los índices del ruido, según lo indicado por la Comisión Europea, al igual que sistemas de insonorización de vivienda dando así los primeros pasos para la mitigación de este problema que cada vez es más perjudicial en las personas.

En la ciudad Bogotá se han realizado estudios distritales en el tema de ruido como fue el realizado en el 2005 por la Personería Delegada para el Medio Ambiente y Desarrollo Urbano de Bogotá, la cual elaboró el estudio en “Control Institucional a la Contaminación Auditiva en Bogotá”, en donde se recopila información relacionada con el número de quejas instauradas ante las alcaldías locales referentes a contaminación por ruido. A demás se han generado mapas de ruido ambiental en las diferentes localidades de la ciudad por parte de un convenio desarrollado entre la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA) y la Universidad INCCA de Colombia.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Formulación del problema.**

¿Es factible la mitigación del ruido con sistemas de insonorización hechos con materiales sustentables que además de cumplir la función de evitar la propagación de ruido puedan reemplazar los elementos no estructurales de edificaciones en la ciudad de Bogotá, para de este modo mejorar la tranquilidad de los residentes de zonas con alta densificación poblacional?

### **1.2.2. Descripción del problema.**

Tomando el tema del *ruido* como referente para dicha investigación, cabe aclarar que es un tema de alto impacto, ya que afecta de distintas maneras a las personas que residen en sectores de vivienda multifamiliar y de alta densificación poblacional, como lo es afectando su tranquilidad para realizar sus actividades de relajación como lo puede ser: ver televisión, leer, buscar tiempo de tranquilidad, hacer



ejercicio, hablar con familiares o amigos, entre muchos más temas de ocio. Así como también puede tener afecciones graves a los residentes como lo son:

- Afección al sueño, este puede llevar a problemas médicos tanto neuronales como físicos; Y puede hacer que las personas bajen su rendimiento en sus actividades diarias tales como el ambiente estudiantil, laboral y profesional.
- Afección al oído, por los altos niveles de ruido urbano las personas ven afectada su salud auditiva a corto o largo plazo según la exposición al ruido.
- Afecciones psicológicas, muchas personas tanto por su edad o por distintos temas tanto psicológicos como fisiológicos, tienden a ser hipersensibles al ruido o cualquier tema que afecte su tranquilidad o ambiente típico. Esto puede traer a las personas, con las alteraciones mencionadas, varias afecciones de tipo psicológicas de alto impacto.
- Afecciones cardíacas, cuando una persona con algún tipo de problemas cardíacos, puede llegar a ver afectada su salud de una manera tal que puede generar complicaciones en los problemas cardíacos mencionados, además de otras repercusiones médicas tanto graves como leves.

Mediante distintos mecanismos se realizan actualmente insonorizaciones de vivienda los cuales suelen contar con paneles adheridos a los elementos de la vivienda los cuales disipan o aíslan el sonido, estos materiales se encuentran hechos tanto en materiales altamente contaminantes como totalmente naturales; además cuentan con distintos tipos de instalación para estos sistemas que pueden ser muy económicos y fáciles como muy costosos y complejos.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Plantear sistemas de insonorización que mitiguen la problemática de ruido en viviendas en la ciudad de Bogotá y reemplacen los elementos no estructurales de una edificación realizado con materiales sostenibles o no contaminantes.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Realizar un diagnóstico de los principales aspectos relacionados con la problemática del ruido en viviendas en la ciudad de Bogotá.

- Identificar los distintos sistemas y materiales utilizables para insonorización de vivienda.
- Definir el sistema de insonorización más adecuado utilizando materiales no convencionales que respondan a las necesidades específicas de la población estudiada.

#### 1.4. JUSTIFICACIÓN

A medida que la densificación de la población en la ciudad de Bogotá y sus alrededores ha aumentado, un tema importante para las comunidades se ha visto afectado y es la *tranquilidad* de las personas. Esto enfocado a que al aumentar la población las distintas fuentes de ruido también se encuentran en crecimiento viéndose como el parte automotor en la ciudad de Bogotá aumenta significativamente cada año, así como los medios de transporte público necesitan aumentar su capacidad enviando más vehículos los cuales son de las principales fuentes de ruido; además con los planes de la Alcaldía Mayor de Bogotá de implementar un nuevo sistema de transporte público ferroviario este aumentará el ruido urbano que se genera en la ciudad afectando en mayor medida la salud de los habitantes.

Por lo tanto, la búsqueda de mejorar la calidad de vida de los habitantes de zonas residenciales afectadas por el ruido urbano se busca generar un sistema de insonorización el cual ayude a mitigar los problemas de ruido actuales y futuros en la ciudad cuidando el medio ambiente y salud de las personas mediante sistemas renovables amigables con el medio ambiente.

Cabe aclarar que la parte más vulnerable acústicamente en las viviendas es la zona de los muros, esto debido a que la mayor cantidad de ondas de sonidos viaja a través del aire y tienen contacto con las viviendas directamente en los muros. Sin embargo, aunque el mayor porcentaje de aislamiento acústico es realizado por los muros sin un sistema completo el sonido puede filtrarse mediante ventanas, techos, pisos, puertas y juntas; por lo tanto, cuando se habla de un sistema de insonorización completo toca tener en cuenta como prioridad los muros sin dejar de lado los otros factores.

En viviendas unifamiliares los problemas acústicos más graves son causados por el tráfico y vecinos además de algunos casos zonas de recreación o industriales cercanas a estas viviendas, por lo tanto, la mayoría de ondas de sonido impactan directamente en muros o en algunos casos en techos.

Cuando se habla de vivienda residencial se cuenta con los factores previamente nombrados incluyendo otros factores tales como la unión de una vivienda con la otra lo cual hace que los ruidos generados por los vecinos tiendan a ser más molestos y

sea más fácil que se filtren dichos ruidos; sumando el factor de que las viviendas se encuentran divididas en pisos tanto los vecinos de arriba como los de abajo se convierten en factor generador de ruido y por lo tanto el aislamiento acústico de techos y pisos requerirá un mejoramiento.

En el caso de puertas y ventanas estas se consideran como materiales complementarios para el sistema de insonorización de muros ya que estas aportan entre un 10 a 15% de reducción de ruido.

Ya como se explicaron los distintos factores generadores de ruido, así como las maneras del aislamiento de los factores mencionados, se distribuirán las ventajas de realizar la insonorización en una vivienda

- **Mejoramiento en la salud de los residentes de la vivienda:** Muchas personas sufren distintos problemas de salud tales como afecciones cardiacas, afecciones al sueño, afección al oído y problemas psicológicos. El ministerio de vivienda, ambiente y desarrollo territorial al conocer la problemática a la salud que genera el ruido urbano ha establecido varias normas y entre ellas la que rige actualmente en el país es la Resolución 0627 de 2006 la cual es la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Esta abarca todo el contenido del tema “ruido” en búsqueda de evitar una contaminación auditiva en distintos sectores estableciendo cierto nivel de decibeles (dBA) según el sector afectado y razones de la generación del ruido. La OMS (Organización Mundial de la Salud) establece que el máximo de dB que puede recibirse en una vivienda no puede sobrepasar los 70 dBA y que mantener sonidos mayores a estos en una vivienda puede llegar a generar los distintos problemas de salud previamente nombrados.
- **Mejoramiento en calidad de vida:** Cuando se cuenta con un sistema de insonorización adecuado la estancia dentro de una vivienda se hace más cómoda y gratificante para los habitantes de la misma esto debido a que las actividades básicas tales como: estudiar, dormir, trabajar, leer, buscar momentos de relajación, conversaciones, hacer ejercicio, ver televisión, entre otras, se hacen más fáciles y cómodas.
- **Aislamiento térmico:** La mayoría de los sistemas de insonorización utilizados, tanto por su composición como configuración cuentan con la capacidad de realizar aislamiento térmico, ya que las ondas del sonido se transfieren de manera similar a las de temperatura cuando el impacto de estas llega al sistema de insonorización este logra absorber y disipar las ondas. Esto logra que la temperatura dentro de la vivienda se mantenga estable, contando siempre con un ambiente estable y cómodo para la habitabilidad.

- **Apariencia visual:** Los sistemas de insonorización suelen contar con un aspecto gratificante a la vista lo cual hace que en la parte visual dentro de la vivienda se sienta un ambiente cómodo y estéticamente funcional.
- **Valorización de las viviendas:** Un sistema de insonorización ayuda a mejorar los factores de salud, calidad de vida, apariencia visual y aislamiento térmico. Ayuda a que la vivienda en la cual se instala un sistema de insonorización aumente su valor considerablemente.

## 1.5. DELIMITACIÓN

### 1.5.1. Espacio.

El espacio geográfico está ubicado en la ciudad de Bogotá, Colombia, donde se planteará una población objetivo que requiera de la aplicación del proyecto en cuestión.

### 1.5.2. Tiempo.

El tiempo de desarrollo del proyecto es inferior a 3 meses dando un previo plazo de aproximadamente 2 meses para la formulación de un anteproyecto viable y posterior a los 3 meses de desarrollo del proyecto, se efectuarán sustentaciones del mismo para dar a conocer el contenido.

### 1.5.3. Contenido.

Debido a la complejidad del tema a tratar y los limitados recursos de investigación sobre el tema, el contenido será netamente teórico donde se presentarán las necesidades del desarrollo del proyecto así como requerimientos y capacidades de los diseños, siendo los mismos únicamente teóricos ; debido a la falta de recursos económicos, de tiempo e instalaciones (laboratorios y áreas de trabajo in situ) no es posible hacer pruebas de funcionamiento de la amplia gama de materiales posibles para la aplicación funcional del proyecto por lo tanto no se contarán con detalles técnicos aplicables a la vida real.

### 1.5.4. Alcance.

Se determinará la problemática del ruido y los sistemas de insonorización más aplicables para ser utilizados como reemplazo de elementos no estructurales de viviendas para mitigar el problema de ruido causado en estas.

Dentro de la ciudad de Bogotá se establecerá una población objetivo que podría verse mayormente beneficiada por los sistemas de insonorización en vivienda.

Determinación de manera efectiva los distintos tipos de insonorización discriminando estos según sus tipos de materiales y funcionamiento efectivo de los mismos.

## **1.6. MARCO DE REFERENCIA**

### **1.6.1. Marco teórico.**

La insonorización es el proceso mediante el cual se evita que las ondas de sonido se propaguen entre ciertos espacios, esta es realizada para evitar que se genere ruido en distintos medios y que el sonido que se genera se quede ubicado específicamente en el lugar o área en la cual se busca que este se propague. La insonorización cuenta con varios métodos para ser realizada como lo es:

- **Aislamiento acústico:** este se da cuando las ondas de sonido alcanzan una superficie, la presión sonora produce vibración que es transferida al elemento donde la energía se transferirá a la cara opuesta del elemento, y según el material del mismo se causará una pérdida de decibeles, el resto será re radiado como sonido por la cara opuesta del elemento.
- **Absorción acústica:** se genera cuando una onda golpea un elemento en forma de energía y esta energía se transforma en calor, normalmente esta absorción es más eficiente cuando el elemento que absorbe la energía cuenta con mayor porosidad. El factor de insonorización se da cuando el ruido transmitido (medido en decibeles) por la barrera de sonido es bajo y la cantidad de dBA obtenida es relativamente imperceptible por el oído o según el nivel de insonorización buscado.

**Sonido:** Es la percepción realizada por el sistema nervioso central de las vibraciones representadas en ondas las cuales cuentan con una amplitud y una frecuencia, las vibraciones llegan al oído el cual brinda información al cerebro que se está recibiendo una vibración que este interpreta en sonido; las vibraciones son trasladadas a través de un medio el cual puede ser aire, agua, superficies sólidas, entre otros. Cabe aclarar que el sonido no puede generarse en el vacío debido a que no tiene un medio para transportar las ondas.

**Ruido:** Es un sonido no deseado que puede llegar a afectar la tranquilidad de las personas según el nivel de ruido generado; actualmente el ruido es uno de los contaminantes más comunes en el medio ambiente urbano y de los más nocivos para ciertas personas.

**Recursos renovables:** son aquellas capacidades y elementos que tienen utilidad para el hombre sin la necesidad de ser modificados o procesados o se pueden utilizar para producir bienes o servicios. Es decir, que tienen un valor actual o potencial, cuya disponibilidad no se agota con su uso, debido a que su utilización no produce una disminución en su disponibilidad.

**Recurso sostenible:** son aquellos que se pueden mantenerse durante periodos de tiempo muy largos y no dañan al medio ambiente, un recurso sostenible no agota recursos y puede llegar a ser remplazado o reutilizado sin producir daños ambientales.

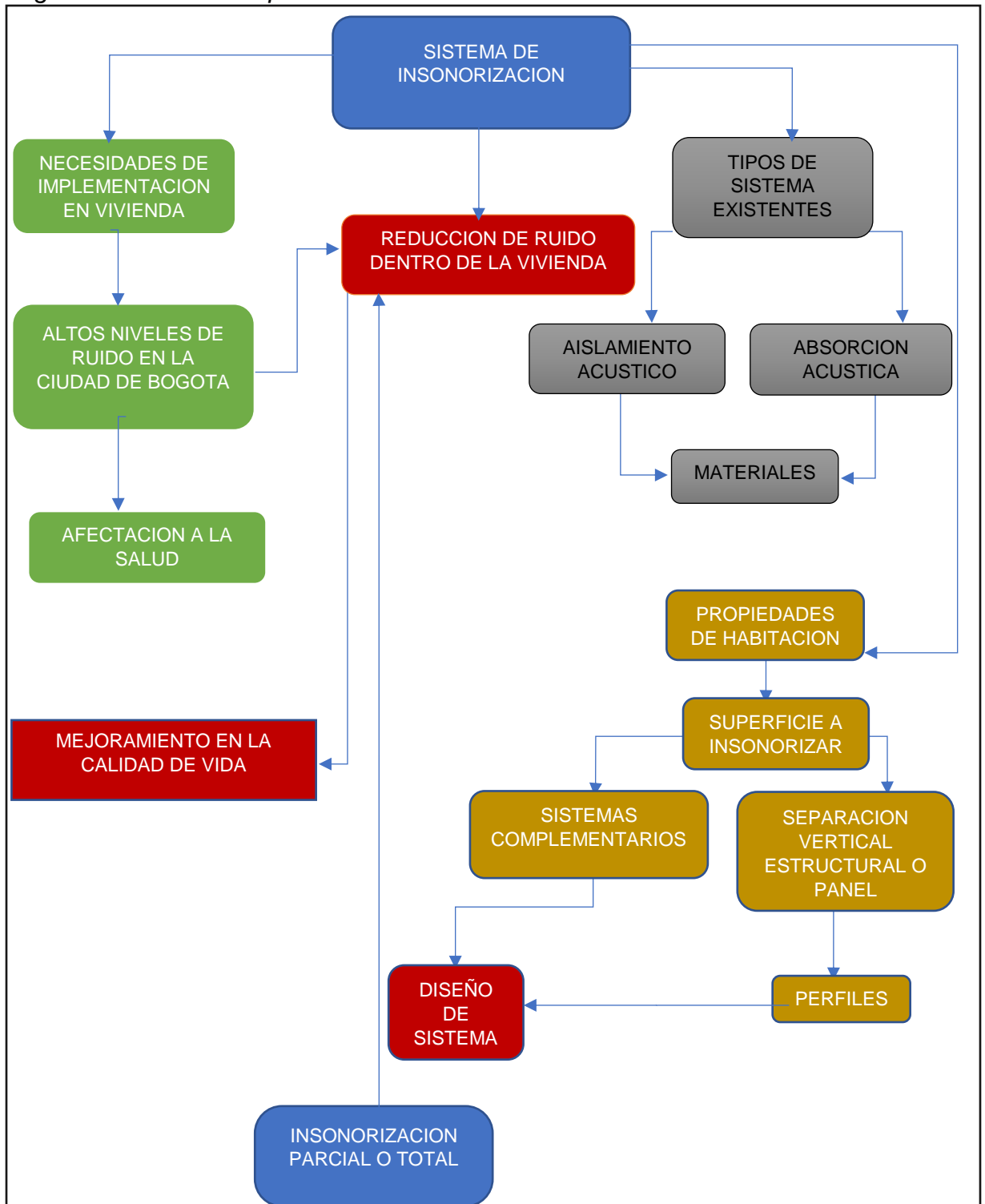
**Elementos no estructurales en un edificio:** Se consideran como no estructurales los elementos que no forman parte del sistema de soporte de la edificación. Son aquellos componentes que pueden o no estar unidos a las partes estructurales como tabiques, ventanas, puertas, cerramientos, falsos techos entre otros.

Los elementos relacionados con la seguridad no estructural, por lo general, no implican peligro para la estabilidad de la estructura, pero sí pueden poner en peligro la vida o la integridad de las personas dentro del edificio.

El riesgo de los elementos se evalúa teniendo en cuenta si están desprendidos, si tienen la posibilidad de caerse o volcarse y afectar zonas estructurales estratégicas, verificando su estabilidad física (soportes, anclajes, etc.) y la capacidad de los equipos de continuar funcionando durante y después de un desastre (almacenamiento de reserva, conexiones alternas, otros).

### 1.6.2. MARCO CONCEPTUAL

Figura 1: Marco conceptual



Fuente: El autor

## **1.7. METODOLOGÍA**

### **1.7.1. Tipo de estudio.**

Se realizará un estudio de tipo teórico investigativo donde se reconocerán las consecuencias y fuentes de ruido, así como los diferentes sistemas de insonorización y aislamiento acústico aplicados.

La línea de investigación aplicada al trabajo de grado que se realiza se encuentra especificada dentro de las líneas de investigación aprobadas por la Universidad Católica de Colombia, esta será la línea de materiales, enfatizado a métodos de construcción de elementos no estructurales de viviendas, en el sistema de innovación.

### **1.7.2. Fuentes de información.**

Se tomarán como fuentes de información referencias bibliográficas mediante medio físico y magnético.



## 2. DISEÑO METODOLÓGICO

### CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO

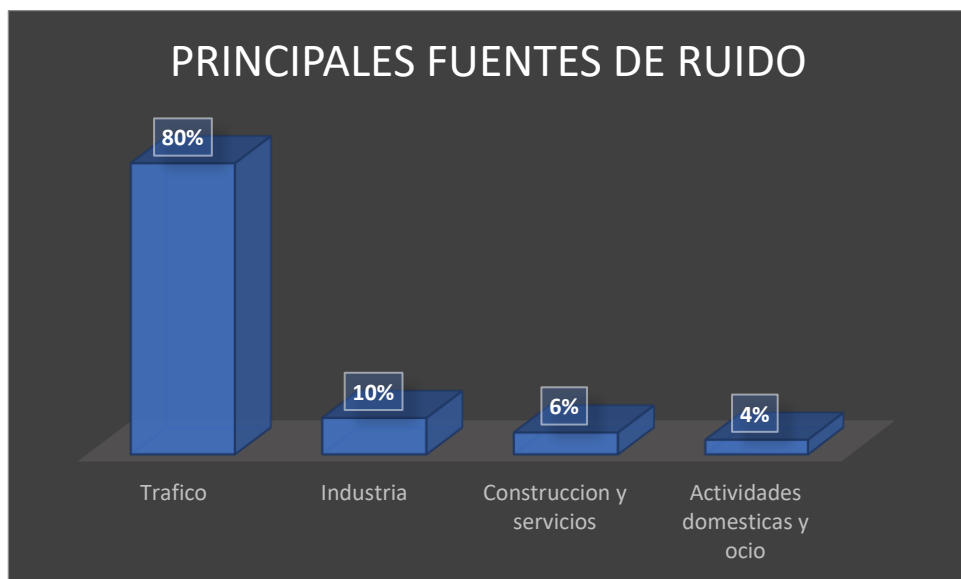
#### 1.1. EMISION DE RUIDO

El ruido es un fenómeno acústico intrínseco en la naturaleza que se da según (DE LA ROSA, 2000) por el contacto entre superficies, así como por reacciones químicas las cuales producen sonido; sin embargo, el ruido contiene cualidades peculiares las cuales se dan según el ambiente en el que se genere, la fuente emisora del sonido, el sujeto receptor de dicho sonido y de por si según el enfoque que se le da al ruido.

##### 1.1.1. Fuentes de ruido.

Según estimaciones internacionales, el ruido en ambientes urbanos es generado por las fuentes descritas en la **Figura 2**.

Figura 2: Principales fuentes de ruido en ambientes urbanos



Fuente: el autor basado Informe ruido y salud<sup>1</sup>

Utilizando la información descrita en la figura 1 y aplicándola como punto de referencia para el análisis de datos obtenidos en el estudio realizado para la

---

<sup>1</sup> Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (OSMAN). Ruido y Salud. Sevilla 2012.

secretaria distrital de ambiente “línea base ambiental 2008”<sup>2</sup> se elabora el Cuadro 1 el cual describe las fuentes de ruido específicas en la ciudad de Bogotá basadas en las fuentes de ruido principales internacionalmente.

Cuadro 1: Porcentaje de ruido producido por las fuentes específicas en Bogotá.

Fuente General	Fuentes específicas	Porcentaje de ruido producido
Trafico		80%
	Vehículos	68%
	Tráfico Aéreo	10%
	Ferrocarriles	2%
Industria		10%
	Actividades Industriales	2,6%
	Comercio	7,4%
Construcción y servicios		6%
	Construcción y Excavación	3%
	Servicios generales	3%
Actividades domésticas y ocio		4%

Fuente: el autor

#### 1.1.1.1. Tráfico y transporte:

Como se muestra en la figura 2 este es la principal fuente emisora de ruido en las ciudades, ya que esta fuente de ruido se encuentra compuesta por todos los factores que comprenden el transporte tales como las vías y carreteras, transporte público (Buses, metros, ferrocarriles, tranvías, taxis, Transmilenio en el caso de Bogotá, entre otros), transporte privado, transporte aéreo y transporte marítimo (el cual no es tenido en cuenta para el presente estudio). La contaminación auditiva generada por los distintos medios de transporte varía según el medio en el que se desplazan y velocidades como se explica a continuación:

Vehículos: Estos son los principales emisores de ruido urbano debido al aumento del parque automotor en las ciudades producido por la densificación de las mismas,

<sup>2</sup> AMAYA, Manuel y ANGEL, Carlos. Estado del Ambiente en Bogotá D.C. Línea Base Ambiental 2008. Secretaria Distrital de Ambiente, 2008. Pag 37-57.

al igual que la necesidad de cubrir mayores distancias por las personas. El tamaño y peso de los vehículos es directamente proporcional al nivel de ruido producido por estos y el ruido producido por estos vehículos se genera por los factores de combustión en el motor, fricción del vehículo con la superficie de rodadura y el aire y pitos; siendo los descritos previamente los factores de generación de ruido, estos se pueden ver intensificados según la velocidad de desplazamiento, variación en la velocidad, cambio en la potencia, nivel de tráfico, intersecciones, semáforos y clima.

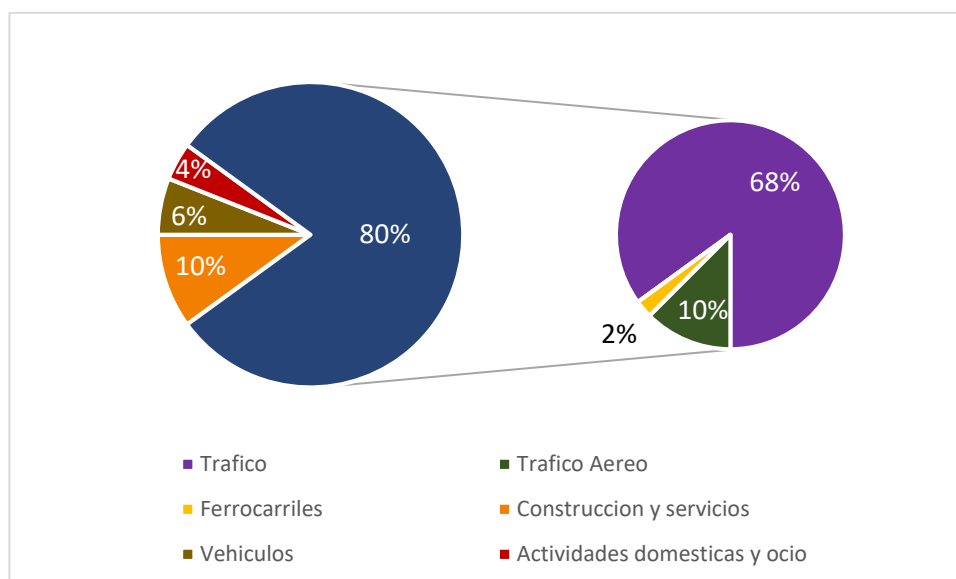
- Tráfico Aéreo: Las distintas operaciones aéreas generan ruido tanto en las zonas vecinales a los aeropuertos como en las zonas por las cuales se encuentran las rutas de vuelo. Los principales emisores de ruido son generados en los aterrizajes ya que cuando estos se dan se realiza una regulación automática de presión, mecanismos de aterrizaje y la aplicación de propulsión inversa, sin embargo, tanto en el aterrizaje como en el despegue se dan otros factores generadores de ruido los cuales son:
  - ❖ Motores, estos pueden generar ruido por condiciones tales como número de motores en los aviones o helicópteros y la potencia de los motores.
  - ❖ Impacto, este se da durante el aterrizaje y es un suceso muy corto, sin embargo, es un gran emisor de ruido y puede variar según el peso y tamaño del avión (en caso de helicópteros, aunque se da impacto en el aterrizaje por medidas de seguridad este debe ser mínimo y puede llegar a ser despreciable ya que el emisor de ruido principal son los rotores del mismo y hacen que el ruido generado por el impacto sea imperceptible).
  - ❖ Fricción, esta se da de dos maneras, la primera forma de fricción es generada entre el avión o helicóptero y el aire; la segunda forma de fricción se da únicamente entre aviones y la pista de aterrizaje (debido a que el aterrizaje de helicópteros es vertical y no genera fricción con la pista de aterrizaje) este emisor de ruido es mayor en los eventos de aterrizaje debido al efecto del frenado el cual genera mayor fricción con el suelo y por lo tanto mayor ruido.
- Ferrocarriles: El ruido generado por estos es dado primordialmente por la velocidad, pero de igual manera el ruido varía dependiendo del motor, la rugosidad de las ruedas y los rieles y los tipos de rieles y sus fijaciones. Sin embargo, el tema más preocupante en la actualidad es la implementación de trenes de alta velocidad los cuales superan velocidades de 250 Km/h y el ruido que se genera por la fricción con el aire a esas velocidades, ya que el ruido producido es comparado con el de un vuelo comercial.

Otro factor a tener en cuenta es la ubicación de los mismos debido a la ubicación de los mismos, si estos son subterráneos tienden a emitir mayores ondas sonoras por vibración y la filtración a las edificaciones se da en los pisos inferiores.

Además, las estaciones de trenes generan ruido a los vecinos de las mismas por los sonidos producidos por motores, altavoces, tráfico de personas, etc.

En la Figura 3 se observan las fuentes específicas de ruido por tráfico en la ciudad dentro de la ciudad de Bogotá comparados con las fuentes principales de ruido internacionalmente

Figura 3: Fuentes de ruido por tráfico comparativo con los principales emisores de ruido ambiental



Fuente: el autor

#### 1.1.1.2. Ruido industrial.

Según OSMAN<sup>3</sup> la actividad industrial crea problemas serios tanto en el interior como en el exterior de las mismas, por lo tanto, la legislación más antigua referente al ruido está enfocada a la protección de trabajadores frente a la emisión de ruido industrial, la cual principalmente es generada por maquinaria la cual puede generar distintas variaciones de ruido tanto en componentes de frecuencia, presión, duración y componentes tonales.

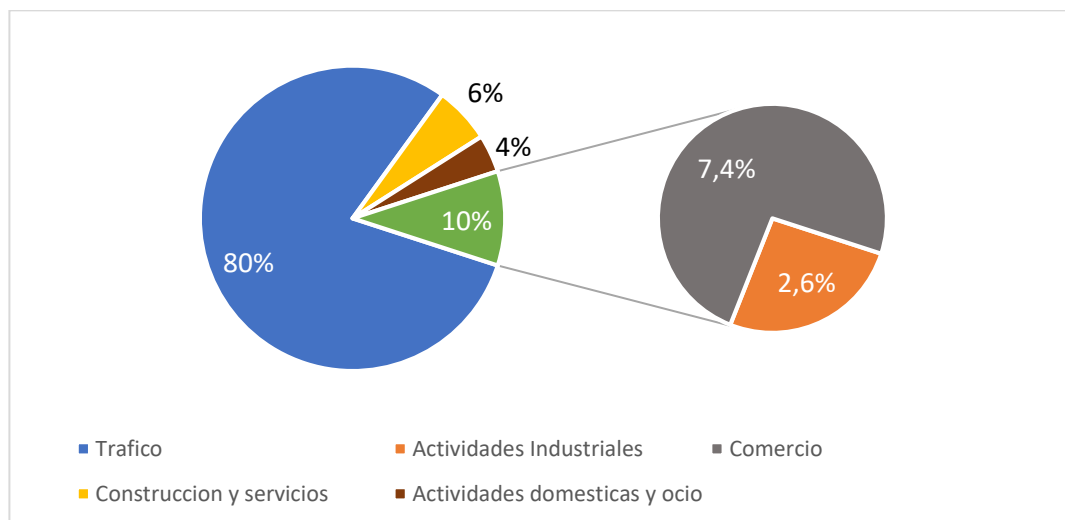
<sup>3</sup> OSMAN, Op. Cit., p.14

Los residentes aledaños a áreas de actividad industrial se ven directamente afectados por los ruidos producidos por las instalaciones industriales y las maquinarias ahí utilizadas.

Las actividades de comercio son también un factor emisor de ruido que afecta directamente a la población residente en sectores comerciales, ya que estos además de sus principales emisores de ruido que son conversaciones y anuncios en altas frecuencias, uso de maquinarias que pueden generar las mismas variaciones de ruido que en la actividad industrial (en menores niveles). También atraen fuentes de ruido de otras características las cuales son ruido producido por vehículos, ruido por distintas actividades de ocio que se ven aledañas a las áreas comerciales o utilizadas en las mismas siendo el más común el uso de música.

Siendo esta la segunda fuente principal de emisión de ruido se muestra en la gráfica N el porcentaje de ruido que generan en la ciudad de Bogotá comparado con las fuentes principales emisoras de ruido

*Figura 4: fuentes de ruido industrial en la ciudad de Bogotá comparativo con las principales fuentes de ruido*



Fuente: el autor

#### 1.1.1.3. Construcción y servicios.

En la construcción y excavación se generan fuentes considerables de ruido debido a la variación de maquinaria utilizada para esta, además de los procesos realizados que contribuyen a ruidos constantes con variaciones de frecuencia. Las maquinarias utilizadas en la construcción y excavación generan ruido tanto por los motores como por las actividades que realizan como lo es el transporte, compactación, mezclado, excavación, entre otras, y cada una de estas generan distintos tipos de ruido los

cuales pueden ser por vibración, impacto, desplazamiento, rozamiento, bombeo, etc.

En este punto hay que tener en cuenta los distintos servicios que se brindan a la comunidad que generan ruido los cuales según OSMAN<sup>4</sup> se manejan los sistemas municipales principales generadores de ruido es la recolección de basuras y limpieza de calles además de los sistemas internos en las edificaciones los cuales son principalmente sistemas de aire acondicionado y ventilación, bombeo, sistemas de tuberías, ascensores.

El presente punto muestra como la actividad de construcción y servicios afecta tanto el ambiente interior como exterior en las edificaciones generando fuentes de ruido molestas y perjudiciales para las personas.

#### 1.1.1.4. Actividades domésticas y de ocio

Aunque es la menor fuente emisora de ruido se debe considerar que las actividades domésticas se ven relacionadas a todas las personas ya que el uso de electrodomésticos y música son fuentes que cuando emiten ruido en gran intensidad afectan directamente a los vecinos siendo estos los principales afectados por las actividades domésticas, sin embargo, cuando estas tienden a volverse constantes se vuelven un factor molesto que afecta directamente a la salud de los implicados.

Cuando el tema es referente a actividades de ocio estas se pueden generar tanto en la parte interna como externa de las edificaciones y tienen altas variaciones de ruido según la actividad realizada donde en las áreas internas de las edificaciones se pueden encontrar comúnmente realización de fiestas, uso de máquinas de ejercicio, altos niveles de ruido por televisores y computadores. En las partes externas según el área se pueden encontrar diversas e incontables actividades emisoras de ruido las más problemáticas son las discotecas, parques de diversiones, festivales callejeros, actividades deportivas (siendo más grave para residentes cercanos a estadios), puntos de eventos (como conciertos), iglesias, uso de máquinas para recreación, etc.

#### 1.1.2. Marco legal de emisión de ruido.

En Colombia el tema de “ruido” aún es algo nuevo a tratar, aunque se han avanzado distintos estudios y reglamentaciones estas se han dado de manera empírica y en algunos casos conocimientos básicos de acústica, además, basados en normas y recomendaciones internacionales entre las cuales se encuentra la más importante que es la emitida por la Organización Mundial de la Salud mostrada en la Cuadro 2. Sin embargo, en Colombia las penalizaciones por contaminación auditiva no son tan

---

<sup>4</sup>OSMAN, Op. Cit., p.14

rigurosas al igual que la normativa no se encuentra controlada de ninguna manera, por lo tanto, para el debido control se realizan chequeos eventuales en las zonas más vulnerables y en algunos casos debido a reportes ciudadanos que soliciten el control por contaminación por ruido en ciertos sectores.

Cuadro 2: Niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud

LÍMITE	EFEECTO A EVITAR O SITUACIÓN EN LA QUE SE APLICA
<b>100 - 130 Dba</b>	Incomodidad auditiva
<b>130 - 140 Dba</b>	Riesgo de daño físico (por ejemplo, perforación del tímpano)
<b>130 Dba</b>	Dolor agudo
<b>70 dBA <math>L_{eq24}</math></b>	Daño auditivo despreciable
<b>30 dBA <math>L_{eq}</math></b>	Excelente inteligibilidad
<b>45 dBA <math>L_{eq}</math></b>	Inteligibilidad completa
<b>40 - 55 dBA <math>L_{eq}</math></b>	Inteligibilidad razonablemente buena
<b><math>T_{rev} &lt; 0.6</math> s</b>	Adecuada inteligibilidad
<b><math>T_{rev} = 0.25 - 0.5</math> s</b>	Inteligibilidad adecuada para los hipoacúsicos
<b><math>S/N &gt; 0</math> Db</b>	Comprensión de la palabra
<b><math>S/N &gt; 10</math> dB - 15 Db</b>	Comprensión de la palabra extranjera, escuela, teléfono, mensajes complejos
<b>100 dBA <math>L_{eq4}</math></b>	Conciertos
<b>90 dBA <math>L_{eq4}</math></b>	Discotecas
<b>140 dB peak</b>	Sonidos Impulsivos
<b>ASPL &lt; 80 Dba</b>	Juguetes, en el oído del niño
<b>CSPL &lt; 130 Dbc</b>	Juguetes, en el oído del niño
<b>30 dBA <math>L_{eq}</math></b>	Ruido interior

<b>40 - 45 dBA <math>L_{\max}</math> (fast)</b>	Eventos ruidosos aislados al dormir
<b>45 dBA <math>L_{eq}</math></b>	Ruido externo al dormir (ventanas abiertas, reducción de 15 dB)
<b>35 dBA <math>L_{eq}</math></b>	Salas de hospital
<b>45 dBA <math>L_{\max}</math> (fast)</b>	Eventos ruidosos aislados, salas de hospital
<b>50 - 55 dBA <math>L_{eq}</math></b>	Exteriores de día
<b>40 - 50 dBA <math>L_{eq}</math></b>	Exteriores de noche
<b><math>T_{rev} = 1 \text{ s}</math></b>	Buffet de escuela
<b>55 dBA <math>L_{eq}</math></b>	Patios de escuela
<b>Si <math>L_{eqC} - L_{eqA} &gt; 10 \text{ dBA}</math> y <math>L_{eqA} &lt; 60 \text{ Dba}</math></b>	Sumar 5 dBA a $L_{eqA}$
<b>Si <math>L_{eqC} - L_{eqA} &gt; 10 \text{ dBA}</math> y <math>L_{eqA} &gt; 60 \text{ Dba}</math></b>	Sumar 3 dBA a $L_{eqA}$

Fuente: BERGLUND, Birgitta; LINDVALL, Thomas (ed.). *Community noise*. Stockholm: Center for Sensory Research, Stockholm University and Karolinska Institute, 1995.

En el cuadro 1: Valores guía para el ruido urbano en ambientes específicos, publicado en: BERGLUND, Birgitta, et al. Guías para el ruido urbano. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS*, 1999. Se puede encontrar el cuadro anterior explicado de manera más simple y detallada si se requiere más información del mismo, al igual que mecanismos de análisis y características por las cuales se llega a los datos presentados.

#### 1.1.2.1. Norma Nacional De Emisión De Ruido Y Ruido Ambiental.

Resolución 0627 de 2006 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: donde se adopta la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental donde se estipulan los mecanismos de control de ruido:

- Parámetros permisibles de ruido y ruido ambiental
- Equipos de medición
- Vigilancia y control: sanciones en artículo 85 de la ley 99 de 1993
- Procedimientos técnicos de medición para emisiones de ruido
- Presentación de informes
- Disposiciones varias



#### 1.1.2.2. Normativa de emisión de ruido en la ciudad de Bogotá

Se encuentra regulada por la Resolución 0627/06 y dispone con ciertas resoluciones que permiten modificar u obtener permisos de emisión de ruido:

- Resolución DAMA No. 185/99: establece condiciones generales para la obtención de permisos de perifoneo en el Distrito Capital.
- Resolución DAMA No. 832/00: establece la clasificación empresarial por impacto sonoro UCR que permite valorar las industrias y establecimientos, respecto a su nivel de generación de ruido.

En la ciudad de Bogotá el control de emisión de ruido se hace mediante las entidades ambientales y se imponen sanciones según la **Ley 1801 de 2016** descritas en los siguientes artículos:

- **Artículo 33°:** Comportamientos que afectan la tranquilidad y relaciones respetuosas de las personas.
- **Artículo 84°:** Perímetro de impacto de la actividad económica.
- **Artículo 93°:** Comportamientos relacionados con la seguridad y tranquilidad que afectan la actividad económica.

Con respecto a los máximos estándares de emisión de ruido mostrados en el cuadro 3 se hace una regulación el máximo ruido ambiental que se puede encontrar en distintos sectores según el uso del suelo en los mismos.

Cuadro 3: Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles DB(A)

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. <b>Tranquilidad y Silencio</b>	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. <b>Tranquilidad y Ruido Moderado</b>	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. <b>Ruido Intermedio Restringido</b>	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas	80	75

	destinadas a espectáculos públicos al aire libre.		
Sector D.	Residencial suburbana.	55	50
<b>Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado</b>	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Resolución 0627 (07, abril, 2006), donde se adopta la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Modificado por la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá D.C.

#### 1.1.2.3. Criterios de control de ruido según la Agencia Americana De Protección Del Medio Ambiente EPA (Environmental Protection Agency).

El nivel máximo permisible según el criterio de EPA para las zonas residenciales típicas es de 55  $L_{dn}$  lo cual expresa un promedio de nivel sonoro anual el cual se encarga de brindar un factor de seguridad para la población evitando alteraciones en la salud o bienestar de las mismas.

EPA, así como los distintos entes reguladores ambientales en el mundo presenta tablas de criterios de regulación de ruido, en los cuadros 4 y 5 se presentan los niveles promedio recomendados para mantener un margen de seguridad en la protección de las personas.

Cuadro 4 Criterio EPA para ruido nocturno en interiores

ZONA	ÍNDICE	LÍMITES PARA INTERFERENCIAS C/ACTIVIDADES	PROTECCIÓN DE: PÉRDIDA AUDITIVA	PROTECCIÓN AMBOS RIEGOS
RESIDENCIAL	$L_{DN}$ $L_{eq(24)}$	45	70	45
COMERCIAL	$L_{eq(24)}$	(a)	70	70 (c)
DENTRO DEL TRANSPORTE	$L_{eq(24)}$	(a)	70	(a)
INDUSTRIAL	$L_{eq(24)}$ (d)	(a)	70	70 (c)
HOSPITALES	$L_{DN}$ $L_{eq(24)}$ (d)	45	70	45
EDUCACIONAL	$L_{eq}$ $L_{eq(24)}$ (d)	45	70	45
RECREACIÓN	$L_{eq(24)}$	(a)	70	70 (c)

Fuente: EPA (Environmental Protection Agency) Report N° 550/9-74-004

Cuadro 5: Criterio EPA para ruido diurno en interiores

ZONA	ÍNDICE	LÍMITES PARA INTERFERENCIAS C/ACTIVIDADES	PROTECCIÓN DE: PÉRDIDA AUDITIVA	PROTECCIÓN AMBOS RIEGOS
RESIDENCIAL	$L_{DN}$ $L_{eq(24)}$	55	70	55
COMERCIAL	$L_{eq(24)}$	(a)	70	70 (c)
INDUSTRIAL	$L_{eq(24)}$		70	70 (c)
HOSPITALES	$L_{DN}$ $L_{eq(24)}$	55	70	55
EDUCACIONAL	$L_{eq}$ $L_{eq(24)}$ (d)	55	70	55
RECREACIÓN	$L_{eq(24)}$	(a)	70	70 (c)

Fuente: EPA (Environmental Protection Agency) Report N° 550/9-74-004

(a) Se encuentra relacionado con diferentes niveles de ruido dando identificación a un nivel máximo que interfiera con actividades exceptuando las circunstancias donde la actividad crítica es la comunicación hablada

(b) Basado en el nivel más bajo

(c) Basado en la pérdida auditiva

(d)  $L_{eq}$  Es la relación de equivalencia comparativa entre la exposición de cierto nivel de ruido en un tiempo x con respecto a la exposición de ruido durante el día

(e) Explicación para la identificación del nivel para la pérdida auditiva en cierto periodo de tiempo

### 1.1.3. Emisión de ruido en la ciudad de Bogotá.

En el estudio realizado por Pacheco, Franco & Behrentz<sup>5</sup> el cual se encargó de realizar medición de zonas en las cuales se producían los mayores índices de ruido ambiental, se decidió tomar como punto base la resolución 0627 de 2006 para delimitar sectores y posteriormente seleccionar microambientes de acuerdo a la mayor y menor contaminación auditiva como se logra apreciar en el **Cuadro 6**.

Cuadro 6: microambientes incluidos en el estudio.

Sector	Subsector	Microambiente	Ubicación (dirección)
<b>A</b>	Hospital	Escenario con menor contaminación	Carrera 111 x calle 157
		Escenario con mayor contaminación	Calle 127 x Autopista Norte
<b>B</b>	Residencial	Escenario con menor contaminación	Calle 100 x Avenida Suba
		Escenario con mayor contaminación	Calle 75 x Carrera 10
<b>C</b>	Comercial	Escenario con menor contaminación	Calle 109 entre Av. 15 y Av. 19
		Escenario con mayor contaminación	Carrera 10 x Calle 13
<b>D</b>	Parque	Escenario con menor contaminación	Avenida 68 x Calle 63 (Interior)
		Escenario con mayor contaminación	Avenida 68 x Calle 63 (Exterior)

Fuente: Fuente: Pacheco, Franco y Behrentz (2009)

En la ciudad de Bogotá comparativamente a la resolución 0627 de 2006 se encuentra niveles de ruido excesivos los cuales afectan de manera perjudicial la salud de las personas, siendo la zona más afectadas por ruido la de Kennedy que fluctúa entre los 75dB(A) y los 95dB(A). Al igual que en Fontibón y Antonio Nariño

---

<sup>5</sup> PACHECO, José; FRANCO, Juan F.; BEHRENTZ, Eduardo. Caracterización de los niveles de contaminación auditiva en Bogotá: Estudio piloto. *Revista de ingeniería*, 2009, no 30, p. 72-80.

donde los niveles de ruido son similares a los de Kennedy. En la localidad de Chapinero ronda los 87dB(A) y Engativá entre los 65dB(A) y los 85 dB(A).

En el **cuadro 7** Se logran identificar los niveles de ruido resultantes únicamente por la fuente de tráfico de vehículos en los microambientes establecidos en el **cuadro 6**.

Cuadro 7: Resultados de presión sonora en mediciones de ruido ambiental.

Sector	Subsector	Microambiente	Norma dB(A)	L <sub>A,eq,8h</sub> dB(A)	L <sub>max,8h</sub> dB(A)	L <sub>min,8h</sub> dB(A)	L <sub>pico</sub> dB(A)	L <sub>90</sub> dB(A)
A	Hospital	Escenario con menor contaminación	55	60	79	52	114	55
		Escenario con mayor contaminación		73	94	60	113	66
B	Residencial	Escenario con menor contaminación	65	60	88	46	105	50
		Escenario con mayor contaminación		69	81	56	107	61
C	Comercial	Escenario con menor contaminación	70	65	83	51	111	58
		Escenario con mayor contaminación		76	92	67	115	71
D	Parque	Escenario con menor contaminación	55	56	78	46	105	48
		Escenario con mayor contaminación		61	82	54	106	57

Fuente: Pacheco, Franco y Behrentz (2009)

Los resultados obtenidos del estudio realizado por Pacheco, Franco & Behrentz, 2009 y resumidos en el cuadro 7 permiten demostrar que en el 75% de los casos evaluados no se cumple con los especificados en la norma *“Para la comparación con la norma nacional se debe destacar que ésta se utilizó simplemente como un valor de referencia, dado que los períodos de integración establecidos en la*

*Resolución 627 de 2006 son distintos (14 horas) a los utilizados en este estudio (8 horas). Estos últimos son típicos para investigaciones”<sup>6</sup>*

Donde el mayor índice de incumplimiento se daba en el sector A (hospitales) el cual es el que requiere de mayor tranquilidad debido a la sensibilidad del mismo; en el sector residencial se encontró que los intervalos analizados no cumplen para ninguna de las situaciones esperadas donde en el día se podían encontrar niveles de ruido perjudiciales para la salud tanto en efectos auditivos como no auditivos y en los intervalos nocturnos se observó que llegan a niveles que afectan directamente el sueño (los efectos de los niveles mostrados se mostraran en el capítulo siguiente) por lo tanto, el sector residencial se encuentra altamente vulnerable ante las implicaciones del ruido en las persona.

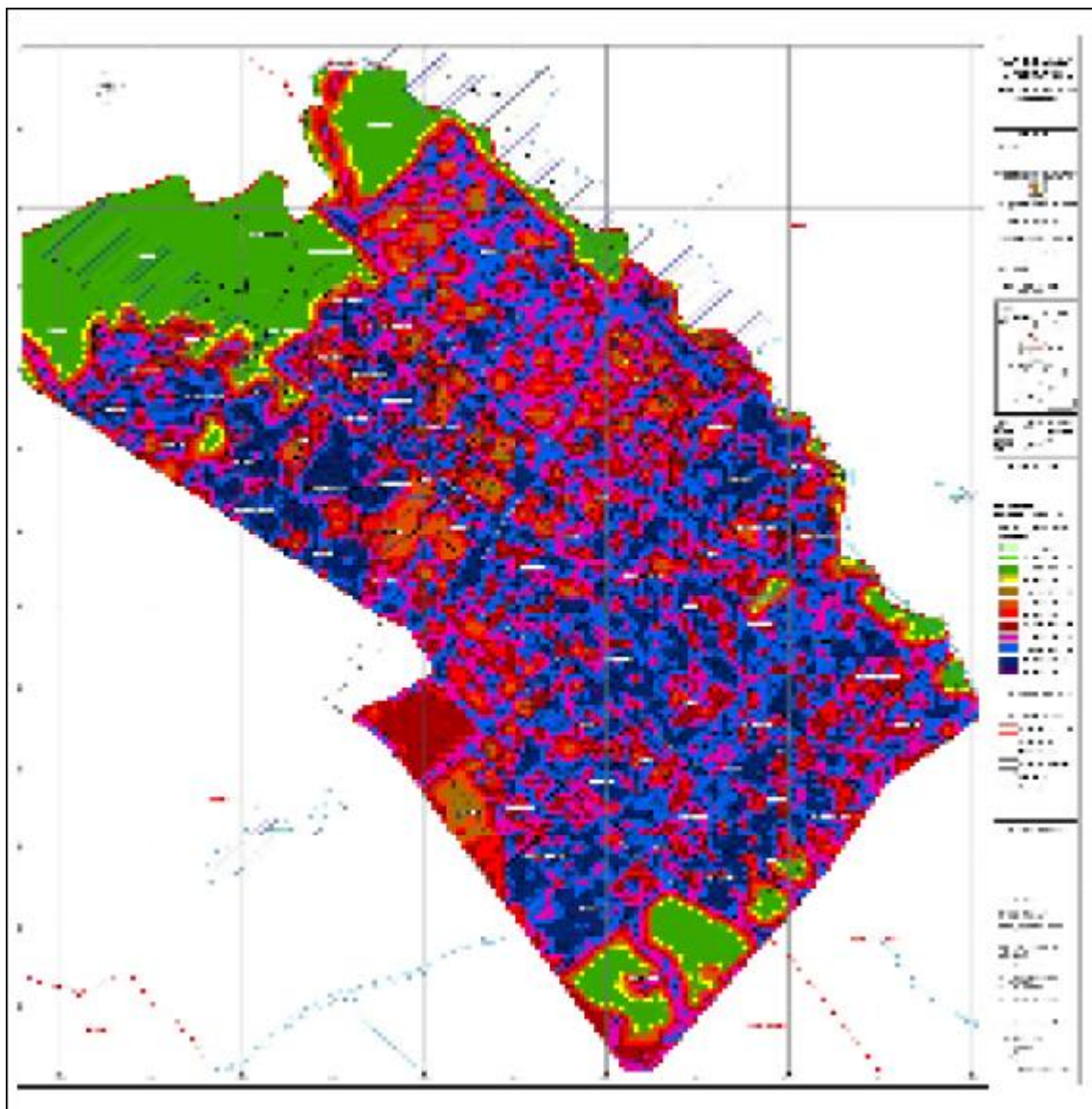
En un convenio con la universidad inca publicado por Línea Base Ambiental 2008 Estado del Ambiente en Bogotá D.C. Secretaría Distrital de Ambiente, se realizó una medición de ruido ambiental producido por los distintos tipos de fuentes dando como resultado los mapas de ruido tanto de día figura 5, como de noche figura 6, los cuales hacen notar de manera más específica los sectores más afectados por ruido en la ciudad, dando como evidencia que en general la ciudad se encuentra bajo una problemática de ruido grave.

---

<sup>6</sup> PACHECO, FRANCO, BEHRENTZ, Op. Cit., p.74

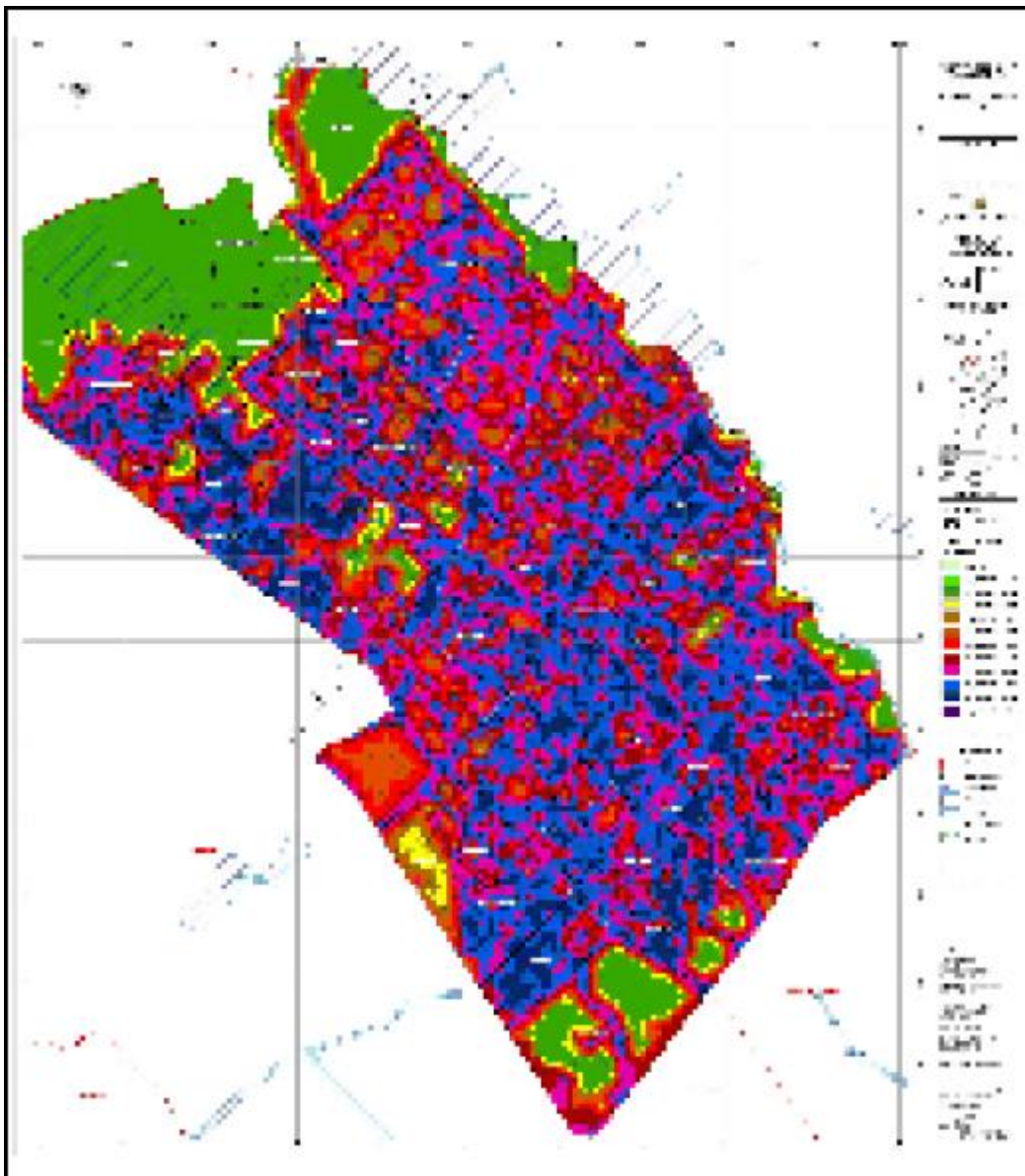


Figura 5 Mapa de ruido diurno en la ciudad de Bogotá.



**Fuente:** AMAYA, Manuel y ANGEL, Carlos. Estado del Ambiente en Bogotá D.C. Línea Base Ambiental 2008. Secretaria Distrital de Ambiente, 2008. Pag 48.

Figura 6: Mapa de ruido nocturno en la ciudad de Bogotá.



**Fuente:** AMAYA, Manuel y ANGEL, Carlos. Estado del Ambiente en Bogotá D.C. Línea Base Ambiental 2008. Secretaria Distrital de Ambiente, 2008. Pag 49.

Como se muestra en los mapas de ruido previos donde los colores azul y rojo corresponden a niveles de ruido superiores a 55 dB(A) (siendo azul y purpura las situaciones más graves); se puede evidenciar como las áreas residenciales son las más propensas a altos niveles de ruido por tráfico ya que se logra ver como se forman algunas líneas marcadas por áreas azules las cuales denotan las vías principales de la ciudad, siendo entre las más resaltables y mejor conformadas la

Avenida calle 72, la Avenida calle 80, la Avenida Ciudad de Cali, Avenida Boyacá y la Avenida NQS, Avenida calle 26, entre otras.

## **1.2. IMPLICACIONES DEL RUIDO EN LAS PERSONAS**

### **1.2.1. Salud.**

En los últimos años la contaminación acústica se ha convertido en uno de los mayores problemas de salud pública debido a la afectación que el “ruido” produce en las personas; Según Díaz<sup>7</sup> la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en el 2015, aproximadamente cada día 130 millones de personas, alrededor del mundo, se encuentran expuestas a niveles de ruido que superan los 65 dB, y la mayoría de estas se encuentran ante niveles de contaminación acústica que superan los límites establecidos por la organización mundial de la salud (OMS).

Según RECIO, CARMONA, LINARES, ORTÍZ, BANEGAS, DÍAZ<sup>8</sup>, se expone que el 40 % de la población de los países de la UE está expuesta a niveles de ruido de tráfico superiores a 55 dB(A); el 20 % a más de 65 dB(A) durante el día y el 30 % a niveles superiores a 55 dB(A) por la noche; al igual que Según OSMAN<sup>9</sup>, aproximadamente el 20% de la población europea se encuentra expuesta a niveles de ruido los cuales son inaceptables y que provocan distintas alteraciones en la salud.

Se reconoce evidencia verídica de que el ruido ambiental afecta directamente la salud de las personas siendo la perturbación del sueño y el rendimiento cognitivo las mayores molestias causadas, y los adultos mayores y niños los más afectados por dicho problema.

#### **1.2.1.1. Alteraciones auditivas causadas por el ruido.**

Las alteraciones que se dan a la audición se generan cuando las personas tienen afectaciones negativas en su vida normal, y la audición no se encuentra en sus parámetros normales, los cuales son definidos como la capacidad de detectar sonidos en la gama de 20 a 20 000 Hz, aunque la audición normal varía entre

---

<sup>7</sup> JIMÉNEZ, Julio Díaz; SANTIAGO, César López; GIL, Cristina Linares. Ruido y Salud. *Documento* <http://www.sorolls.org/docs/ruido-y-salud.htm>, 2006.

<sup>8</sup> RECIO, A., CARMONA, R., LINARES, C., ORTÍZ, C., BANEGAS, J.R., DÍAZ, J. Efectos del ruido urbano sobre la salud: estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid. Instituto de Salud Carlos III, Escuela Nacional de Sanidad: Madrid, 2016.

<sup>9</sup> OSMAN, Op. Cit., p.5

personas, y se ha establecido que durante la edad se va generando pérdida de audición lo cual es definido como presbiacusia.

La pérdida de la audición es por si el efecto más conocido y se genera por dos factores los cuales son la intensidad y la duración del ruido.

Los mayores efectos de pérdida de audición son los siguientes:

- **Trauma acústico:** Es producido por sonidos breves con una alta intensidad los cuales ocasionan pérdida auditiva permanente. La intensidad de estos ruidos es mayor o igual a 140 dB.
- **Elevación temporal y/o permanente del umbral auditivo:** Estas son las alteraciones auditivas más comunes y son producidas con exposición a ruidos de intensidad moderada o alta la cual según OMS supera intensidades de 75 dBA y durante lapsos de tiempo moderadamente largos.

Estas generan elevaciones temporales del umbral de audición las cuales pueden convertirse en permanentes según el tiempo de exposición radicado en la muerte de células auditivas. Un ejemplo para analizar es en el cual se estima que una exposición a 85 dB durante 8 horas diarias es asociada a la pérdida auditiva al cabo de 10 - 20 años

En la siguiente tabla de mostrarán los efectos sobre la salud auditiva causados por la exposición al ruido según la Organización Mundial de la Salud:

Cuadro 8: efectos sobre la salud auditiva causados por la exposición al ruido

Entorno	Nivel de Sonido dBA	Tiempo (h)	Efecto sobre la salud
Exterior de viviendas	50 – 55	16	Molestia
Interior de viviendas	35	16	Interferencia con la comunicación
Dormitorios	30	8	Interrupción del sueño
Aulas escolares	35	Duración de clases	Perturbación en la comunicación
Áreas comerciales, Industriales y de trafico	70	24	Deterioro auditivo
Música en auriculares	85	1	Deterioro auditivo
Actividades de ocio	100	4	Deterioro auditivo

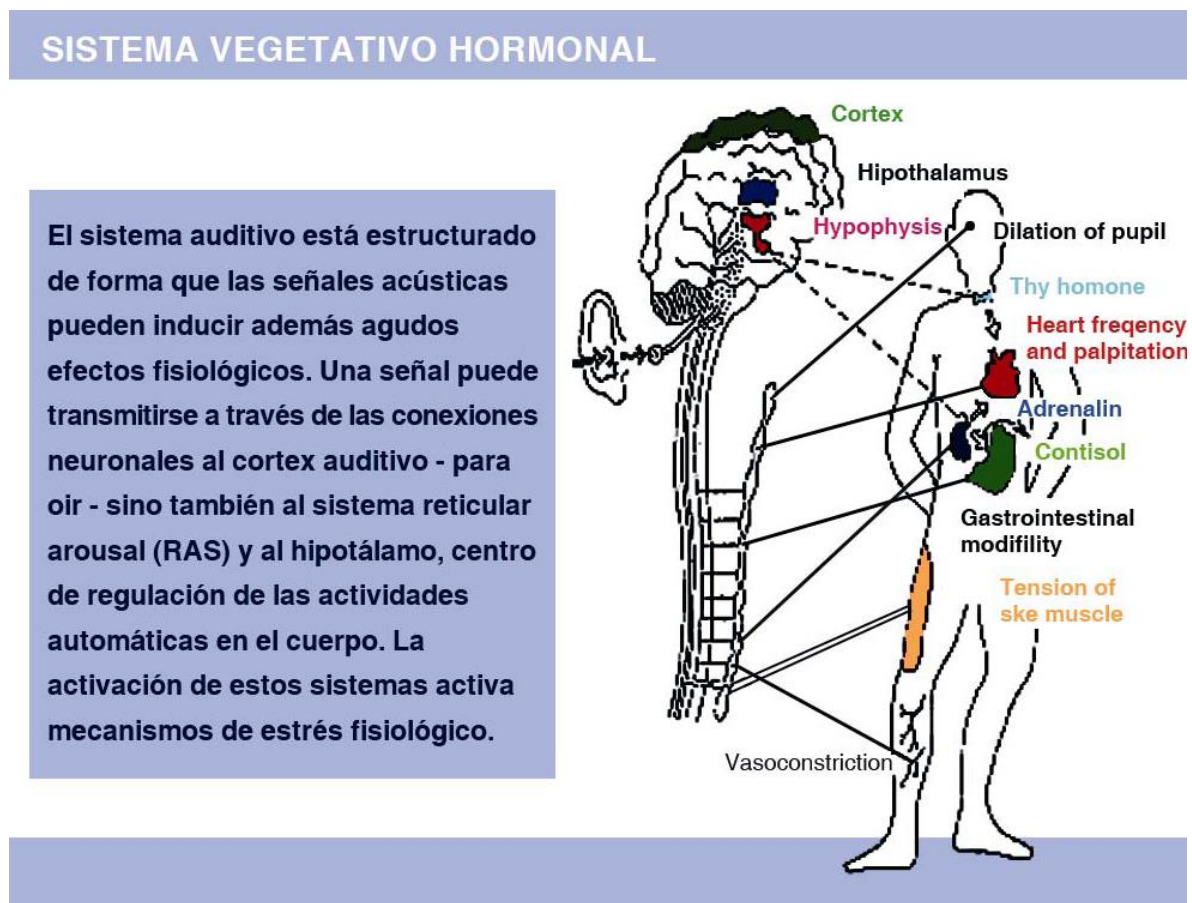
*Fuente:* WHO, Guidelines for Community Noise. Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela ed. 1999

Cabe resaltar que los datos presentados previamente son para situaciones típicas en sectores alejados de aeropuertos, vías con alto tránsito, parques, salones de eventos, etc.

#### 1.2.1.2. Alteraciones no auditivas causadas por el ruido.

A las alteraciones auditivas explicadas previamente, se le anexan otras alteraciones, las cuales se producen por encontrarse sometidos a dosis altas de ruido durante lapsos de tiempo mayores. Estas dosis de ruido afectan directamente la salud de las personas expuestas siendo las señales acústicas las que afectan directamente el sistema hormonal de las personas actuando como se explica en la figura 7.

Figura 7: Mecanismos biológicos implicados en los efectos no auditivos del ruido



Fuente: JIMÉNEZ, Julio Díaz; GIL, Cristina Linares. Efectos en salud del ruido de tráfico: Más allá de las "molestias". *Revista de Salud Ambiental*, 2015, vol. 15, no 2, p. 125.



Siendo los ilustrados previamente los mecanismos biológicos más afectados por efecto del ruido explicado de la siguiente manera

*La activación del sistema reticular por el ruido produce el vertido de sustancias en la sangre, como mecanismo de respuesta a una situación de estrés, principalmente, adrenalina, norepinefrina y cortisol para personas sometidas a ruido de tráfico, que podría explicar la relación entre ruido y diversas patologías cardiovasculares que, como se verá más tarde, pueden tener incidencia sobre la mortalidad diaria por estas causas específicas.<sup>10</sup> El grado de aceptación del ruido ambiental viene determinado por aspectos psicosociales y demográficos como el tiempo de residencia, la sensibilidad, la actitud y la personalidad.<sup>11</sup> . Esta respuesta es canalizada por el sistema límbico al hipotálamo, en un proceso endocrino que culmina en la corteza adrenal con la liberación de cortisol. La exposición al ruido nocturno produce interrupciones del sueño y despertar electroencefalográfico, lo que ocasiona una insuficiencia del sueño profundo y reparador SWS, así como una afectación del sueño REM.<sup>12</sup> La disminución del tiempo de sueño reparador provoca un aumento de los niveles de cortisol al día siguiente.<sup>13</sup>*

En la siguiente tabla se hace una representación semi-cuantitativa de pruebas de laboratorio en adultos para definir el comportamiento de algunos parámetros biológicos en personas expuestas al ruido.

---

<sup>10</sup> Paunovic K, Jakovljevic B, Belojevic G. Predictors of noise annoyance in noisy and quiet urban streets. Sci. Total Environ. 2009; 407:3707–11

<sup>11</sup> Guski, R. Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. Noise Health 1999; 1:45–56

<sup>12</sup> Belojevic G, Jakovljevic B, Aleksic O. Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits. Environ. Int. 1997; 23:221–6.

<sup>13</sup> Spiegel K, Leproult R, Van Cauter E. Impact of sleep debt on physiological rhythms. Rev. Neurol. (Paris) 2003; 159(11 Suppl):6S11–20.

Tabla 1: Resultados de algunos estudios de laboratorio sobre diferentes niveles de algunos parámetros biológicos entre personas expuestas y no expuestas al ruido.

Autor	Tipo de ruido	Número de personas	Glucosa	Colesterol	Triglicéridos	Fibrinógenos	Adrenalina	Cortisol
Babisch	Diurno/ Calle	2 512	+	+	=	(+)		
Babisch	Diurno/ Calle	2 030	+	(+)	+	=		
Maschke	Nocturno/ Aviones	28	=	=	=		+	+
Braun	Nocturno/ Calle	25					=	+
Harder	Nocturno/ Aviones	16	=	=	=	(+)	(+)	(+)

= Diferencia no relevante; + Significativamente mayor; (+) Relevante sin diferencia significativa

Fuente: JIMÉNEZ, Julio Díaz; GIL, Cristina Linares. Efectos en salud del ruido de tráfico: Más allá de las" molestias". *Revista de Salud Ambiental*, 2015, vol. 15, no 2, p. 125.

Un estudio realizado en Francia sobre 2 000 personas sometidas a niveles de ruido superiores a 85 dB(A) mostró una serie de patologías que no se daban en otro grupo similar de personas no expuestas a esos niveles tan altos de ruido. Se detectó que las expuestas presentaban un 12 % más de problemas cardiovasculares, un 37% más de problemas neurológicos y un 10 % más de problemas digestivos. Otro estudio similar realizado con personas en las proximidades del aeropuerto de Los Ángeles mostró un aumento del 18% sobre la media de enfermedades vasculares con resultado de muerte.

Según el informe Ruido y salud OSMAN<sup>14</sup>., estudios realizados sobre ruido ambiental muestran una asociación entre la exposición al ruido y la enfermedad cardiovascular. Según expertos de la OMS, hay evidencia suficiente de la asociación entre ruido de tráfico y las enfermedades isquémicas cardiacas, y evidencia limitada/suficiente de asociación entre el ruido comunitario y la hipertensión, que en sí misma ya es un importantísimo factor de riesgo cardiovascular. Las investigaciones parecen mostrar que el incremento de riesgo para una enfermedad cardiovascular inducida por el ruido es, en general, de magnitud moderada, pero, sin embargo, es de gran importancia desde el punto de vista de la salud pública, por el gran número de personas de riesgo (los expuestos al ruido son muchos) y porque el ruido al que estamos expuestos continúa aumentando y, en ocasiones, es muy difícil luchar contra él. Sus efectos sobre la salud individual y colectiva no son desdeñables.

<sup>14</sup> OSMAN, Op. Cit., p.37

En la publicación Ruido y Salud se realiza una síntesis de los mayores estudios aplicados a la situación de alteraciones en la salud causados por el ruido donde se concluye que la exposición al ruido de tráfico superior a 65 dBA en personas con problemas cardiovasculares aumenta el riesgo relativo de la enfermedad isquémica del corazón; así como una exposición al ruido de tráfico de 50 dBA aumenta la probabilidad de sufrir de infarto del miocardio y en jóvenes expuestos a ruido ambiental superior a 55 dBA presentan aumentos directos en la presión sanguínea.

Según Jiménez, Gil<sup>15</sup> Los resultados de estudios realizados en la ciudad de Madrid, España muestran que las afectaciones más comunes a causa del ruido son las siguientes:

- Relación entre los niveles de ruido de tráfico y los ingresos hospitalarios por urgencias.
- Relación del ruido de tráfico y muerte por causas circulatorias.
- Relación entre el ruido de tráfico y la mortalidad por causas respiratorias.
- Relación entre el ruido de tráfico y la mortalidad por diabetes.

Obteniendo como resultado el índice de mortalidad atribuible al ruido explicado comparándolo con el índice de mortalidad causado por contaminación por PM2,5 explicado en la siguiente tabla:

---

<sup>15</sup> Jiménez, Gil, Op. Cit., p.126



*Tabla 2: Estimación del impacto del ruido sobre la mortalidad en Madrid según diferentes causas en el grupo de mayores de 65 años. Los impactos se refieren a variaciones de 0,5 dB(A) para el caso del ruido y de 10 mg/m3 para el de PM2,5*

Indicador de Mortalidad	Leq día (8-22h) RR (95% IC)	PM2,5 RR (95% IC)
Causas naturales (ICD9:1-799)	1,017 (1,005 1,030)	1,017 (1,004 1,030)
Número de muertes atribuibles	312 (92-543)	312 (74-543)
Causas cardiovasculares (ICD9:390-459)	1,024 (1,003 1,046)	1,019 (0,997 1,030)
Número de muertes atribuibles	145 (18-273)	116 (19-244)
Causas respiratorias (ICD9:460-519)	1,031 (1,001 1,062)	1,033 (1,003 1,064)
Número de muertes atribuibles	97 (3-189)	103 (10-195)

Fuente: Tobías A, Recio A, Díaz J et ál. Health impact assessment of traffic noise in Madrid (Spain). Environ. Res. 2015; 137:136-40.

### 1.2.2. Sueño.

Según OSMAN<sup>16</sup> el sueño es un proceso altamente organizado caracterizado por una desconexión relativa del ser consiente, donde se produce una actividad cerebral variable no específica, en el cual en condiciones normales se genera la baja actividad muscular y una respuesta reducida a estímulos ambientales tales como el ruido.

*Los efectos cuantificables del ruido sobre el sueño se inician a partir de LAeq de 30 dB(A). Sin embargo, mientras más intenso sea el ruido de fondo, mayor será su efecto sobre el sueño. Los grupos sensibles incluyen principalmente a los ancianos, trabajadores por turnos, personas con trastornos físicos o mentales y otros individuos con dificultades para conciliar el sueño.*

*El trastorno del sueño debido a sucesos de ruido intermitente aumenta con el nivel máximo de ruido. Incluso si el nivel total de ruido equivalente es bastante bajo, unos pocos sucesos de ruido con un alto nivel de presión sonora máxima afectarán el*

---

<sup>16</sup> Op. Cit., p.22

*sueño. Por ende, para evitar trastornos del sueño, las normas para el ruido urbano se deben expresar en función del nivel sonoro equivalente del ruido, de los niveles máximos de ruido y del número de sucesos de ruido. Se debe observar que el ruido de baja frecuencia, por ejemplo, de los sistemas de ventilación, puede perturbar el reposo y sueño aun en niveles bajos de presión sonora.*<sup>17</sup>

Algunos experimentos realizados sobre sujetos sometidos a diferentes condiciones de ruido durante el sueño muestran importantes cambios en los patrones normales de éste. En líneas generales, a partir de 45 dBA de ruido, se produce un aumento en la latencia del sueño (tiempo que tarda en iniciarse el sueño normal). El tiempo dedicado a las fases más profundas disminuye, lo que implica que, al ser estas fases profundas las necesarias para un sueño reparador, el sujeto suele levantarse con sensación de cansancio; el tiempo de sueño REM disminuye y, lo más preocupante, se ha comprobado un aumento de la tasa de afectación cardiaca durante el sueño.

Como se ha demostrado el sueño ininterrumpido es un prerequisite para un funcionamiento fisiológico y mental estable en personas. El ruido ambiental es de las principales características por las cuales se realiza la interrupción del sueño generando distintos tipos de efectos que según OSMAN<sup>18</sup> se pueden separar entre efectos primarios y efectos secundarios que afectan a la persona:

Efectos primarios del ruido sobre el sueño son

- Alteración en la respiración
- Incremento de la presión arterial
- Vasoconstricción
- Cambios en los procesos en el sistema nervioso, generando secreción de hormonas
- Alteraciones psicológicas (depresión, ansiedad, abuso de sustancias)

Efectos secundarios de la alteración del sueño por ruido (el día posterior a falta de sueño por ruido):

- Fatiga
- Estado de ánimo depresivo
- Reducción del rendimiento
- Disminución en el estado de alerta (generando accidentes que pueden causar heridas y hasta la muerte)
- Irritabilidad

---

<sup>17</sup> BERGLUND, Birgitta, et al. Guías para el ruido urbano. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS*, 1999.

<sup>18</sup> Op. Cit., p.23

Según el manual de la WHO “Night Noise Guidelines”<sup>19</sup> se obtienen los efectos que causa el ruido en el sueño según el grado de evidencia disponible

Cuadro 9: Efectos y umbrales para los que existe evidencia suficiente

Efectos		Indicador	Umbral (dBA)
Efectos Biológicos	Cambios en la actividad cardiovascular	---	---
	Despertar Electroencefalográfico	L <sub>A</sub> , max interior	35
	Movilidad	L <sub>A</sub> , max interior	32
	Cambio en la duración de varias etapas del sueño, estructura del sueño y fragmentación del sueño	L <sub>A</sub> , max interior	35
Calidad del Sueño	Despertares nocturnos o muy temprano	L <sub>A</sub> , max interior	42
	Prolongación del periodo de comienzo del sueño, dificultad para quedarse dormido	L <sub>A</sub> , max interior	45
	Fragmentación del sueño, reducción del periodo de sueño	---	---
	Incremento de la movilidad media durante el sueño	L <sub>noche</sub> , exterior	42
Bienestar	Molestias durante el sueño	L <sub>noche</sub> , exterior	42
	Uso de somníferos y sedantes	L <sub>noche</sub> , exterior	40
Condiciones medicas	Insomnio diagnosticado	L <sub>noche</sub> , exterior	42

Fuente: Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (OSMAN). Ruido y Salud. Sevilla 2012. p.18.

<sup>19</sup> WHO, Guidelines for Community Noise. Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela ed. 1999

*Cuadro 10: Efectos y umbrales para los que existe evidencia limitada*

Efectos Biológicos	Efectos	Indicador	Umbral (dBA)
	Cambio en los niveles de Hormonas	---	---
Bienestar	Somnolencia, cansancio durante el día	---	---
	Irritabilidad	---	---
	Deterioro de los contactos sociales	---	---
	Quejas	L <sub>noche</sub> , exterior	35
	Deterioro cognitivo	---	---
Condiciones medicas	Insomnio	---	---
	Hipertensión	L <sub>noche</sub> , exterior	50
	Obesidad	---	---
	depresión	---	---
	Infarto de miocardio	L <sub>noche</sub> , exterior	50
	Reducción de la esperanza de vida	---	---
	Desordenes psíquicos	L <sub>noche</sub> , exterior	60
	Accidentes ocupacionales	---	---

Fuente: Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (OSMAN). Ruido y Salud. Sevilla 2012. p.18.

## CAPITULO 2: SISTEMAS DE INSONORIZACIÓN

### 2.1. ACÚSTICA EN LA CONSTRUCCIÓN

El sector constructivo en las zonas urbanas actualmente tiene un problema grave debido a la densificación y aumento del parte automotor ya que además de tener menores espacios para la construcción, dichas zonas cada vez se encuentran más cercanas a vías principales o de alto tráfico el cual como se mostró previamente es una de las mayores fuentes de ruido. El nivel de exigencia del consumidor, relacionado a la vivienda que adquiere, es cada vez mayor ya que se busca una mejor calidad de vida en mejores hábitats, el mejoramiento del hábitat depende de varios factores como lo puede ser, la ubicación, la comodidad, seguridad y tranquilidad; para el ultimo el factor más importante se relaciona al aislamiento acústico.

Para determinar las cualidades acústicas de un elemento constructivo se realiza mediante un análisis en laboratorio el cual da como resultado el aislamiento acústico normalizado ( $R_n$ ), el resultado de este se da en un valor global de dBA utilizando la siguiente ecuación

$$R_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0}$$

Tomando  $T_0 = 0,5$  s, el cual es el tiempo de reverberación en una sala promedio en una vivienda

Para el cálculo del índice de aislamiento acústico específico ( $R$ ), el cual es requerido según ISO 140 ó en España se maneja la Normativa Básica de la Edificación donde se regula las condiciones acústicas en edificaciones en NBE CA-88

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

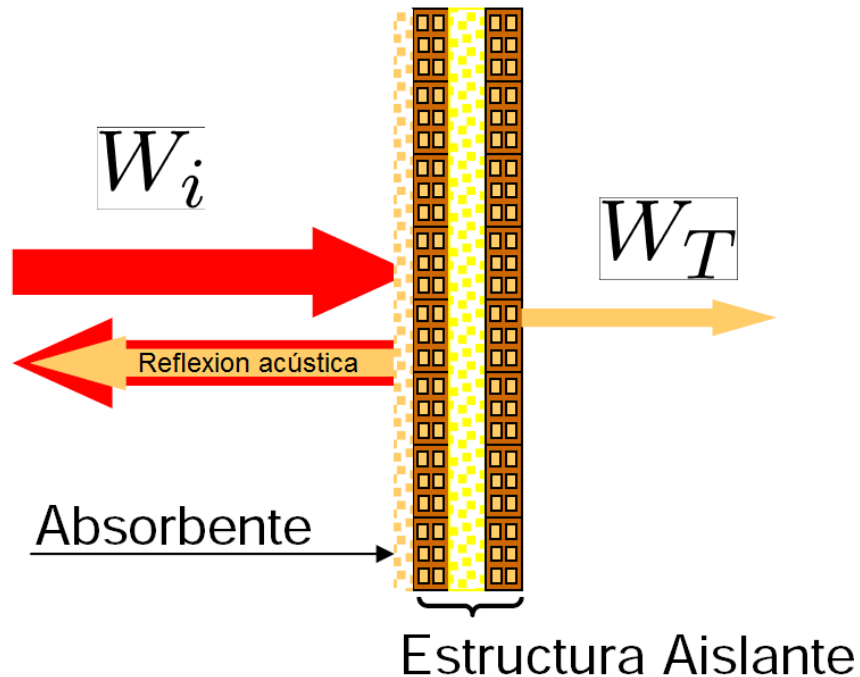
Siendo el valor  $R$  el valor a tener en cuenta para definir la medida de aislamiento acústico entre salas, por lo tanto, mientras  $R$  sea menor el aislamiento acústico de material o sistema es mejor.

#### 2.1.1. Aislamiento acústico.

El aislamiento acústico es el método mediante el cual se utilizan todas las medidas aplicables para controlar o reducir los niveles de ruido en un recinto; donde las medidas están conformadas por dos partes que pueden funcionar como un solo elemento o trabajar independientemente según el aislamiento acústico buscado.

Como se muestra en la Figura 7 una estructura aislante está conformada por un medio absorbente y/o un medio reflectante.

Figura 8: Ondas sonoras en estructura aislantes



Fuente: SOBREIRA SEOANE, Manuel A., ACUSTICA ARQUITECTONICA, implicaciones del CTE-DB HR y del reglamento de la ley del ruido. Sonitum.org, Universidad de Vigo, Vigo-España, 2006. p.3.

La relación entre el coeficiente de absorción  $\alpha$  y el coeficiente de reflexión  $R$  es:

$$\alpha = 1 - R$$

Lo cual procede de la ley de conservación de energía acústica (teóricamente verdadera para una superficie no absorbente)

#### 2.1.2. Absorción acústica.

Según SALINAS<sup>20</sup> cuando en una habitación o recinto se generan ondas de sonido, y estas llegan a las, las paredes tienden a realizar dos procesos distintos con estas ondas el primero es el de reflexión en el cual las ondas chocan con el material del muro y son reflejadas, el segundo, la absorción acústica se genera cuando el muro

<sup>20</sup> SALINAS, Jorge. ACUSTICA ARQUITECTONICA. p.10

absorbe cierto porcentaje de sonido. La absorción dependerá del tipo de material y el recubrimiento de las superficies. Habíamos visto que la emisión del sonido lleva consigo energía, lo cual lleva a definir el coeficiente de absorción sonora  $\alpha$  (alfa) como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente o reflejada de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{W_{abs}}{W_{inc}}$$

El coeficiente  $\alpha$  varía según ciertos factores:

- Angulo de incidencia
- Naturaleza de la fijación del material absorbente
- Naturaleza del cerramiento
- Distancia que separa el material absorbente del cerramiento

Generalmente los materiales más duros y con alta densidad son poco absorbentes como el acero, el caucho o el plomo dando como resultado un valor  $\alpha$  cercano a 0, mientras que la absorción se genera en materiales más blandos y con mayor porosidad en las cuales se encuentran burbujas de aire las cuales inducen a una absorción del sonido y convertir este en energía térmica obteniendo valores de  $\alpha$  cercanos a 1.

Cuando se busca realizar un acondicionamiento acústico el tratamiento para el acondicionamiento acústico, suele efectuarse con elementos materiales destinados a cumplir únicamente con ese requerimiento, que se tornan más específicos cuando se trata de desarrollos arquitectónicos particulares tales como salas de grabación, radiodifusión, teatros, etc. Podríamos distinguir entre materiales acústicos absorbentes y sistemas acústicos absorbentes. En el primero de los casos, son los materiales en sí mismos quienes tienen la propiedad de realizar la absorción del sonido, mientras que los sistemas ya no dependen tanto del material o los materiales utilizados, sino de las estrategias y montajes realizados para cumplir con el control acústico de los recintos.

### 2.1.3. Reflexión acústica.

Como se explicó previamente, la reflexión acústica se genera cuando una onda de sonido choca con cierta superficie y esta hace que las ondas reboten dentro de la misma área donde se genera la fuente de sonido, generando en la misma para los receptores tanto el sonido directo de la fuente como las reflexiones.

Cabe resaltar que dentro de la reflexión acústica se encuentran dos tipos de reflexión las cuales son:

- Reflexión temprana: cuando la fuente de sonido se encuentra dentro de una habitación o área cerrada rodeada de varias superficies y el ambiente es de espacios relativamente pequeños o medianos, las ondas se encuentran muy cercanas en el tiempo entre sí por lo tanto no se percibe un efecto de eco y el receptor por lo tanto percibe estas ondas como una sola.
- Reverberación: Cuando se cuenta con un ambiente en el cual las ondas de sonido pueden ser reflejadas varias veces y previamente se han producido reflexiones tempranas, se genera la reflexión de las reflexiones tempranas una o varias veces, esto produce un efecto en el cual la reflexión se hace cada vez más densa, dando como producto que el receptor de sonido siga escuchando este así la fuente deje de emitir el sonido.

## **2.2. SISTEMAS DE INSONORIZACIÓN**

### **2.2.1. Sistemas absorbentes.**

#### **2.2.1.1. Paneles vibrantes.**

Es una estrategia mediante la cual se exponen superficies en movimiento para absorber las ondas sonoras. Cuando la energía sonora incide sobre la superficie, esta quedara sometida a una vibración y en ciertos casos se generaría movimiento, tanto la vibración como el movimiento dependerán del material en el que incide la energía sonora, siendo los factores más importantes la rigidez y el peso, la superficie o placa sufrirá una propagación de movimientos vibratorios (movimiento en el sentido de la vibración). En el sistema de paneles vibrantes se estima que mientras mayor sea el movimiento de los mismos se generara mayor disipación de energía sonora y por lo tanto mayor aislamiento acústico.

#### **2.2.1.2. Resonadores Absorbentes.**

El resonador es un dispositivo que consiste en una cavidad que comunica al exterior por un conducto en el cual inciden las ondas sonoras. El dimensionamiento de los resonadores depende de la frecuencia que incide en los mismos, por lo tanto, su utilización se encuentra limitada a las mismas. Los resonadores constan con dos compartimientos los cuales son, una cavidad con un determinado volumen de aire y un cuello de sección y longitud menores a la cavidad. Al incidir la presión sonora, el aire en el cuello se pone en movimiento longitudinal, comportándose como un pistón dentro de un cilindro, donde el volumen de aire contenido en la cavidad actúa como un resorte amortiguador. El sistema cumple con su función absorbente cuando al movimiento de la masa de aire contenida se le oponen fricciones en el cuello del resonador, generando un gasto de la energía sonora transformándola en energía térmica.



## 2.2.2. Sistemas aislantes.

### 2.2.2.1. Aislamiento por tabiques simples.

Está dado por una pared simple o de una sola capa, la superficie del tabique en cuestión debe estar conformado por una única sección sin embargo esta no necesariamente debe ser homogénea al igual que puede constar varias capas unidas. Para el aislamiento por tabiques simples se manejan dos factores importantes, siendo el primero y controlable por el constructor la densidad del material utilizado, siendo la capa exterior la encargada del aislamiento acústico, por lo tanto, el material es calculado según su masa superficial dado por su peso por unidad de superficie, normalmente expresado en ( $\text{kg/m}^2$ ), donde un material típico en el cual se cuenta con una masa superficial de aproximadamente  $400 \text{ kg/m}^2$  según la frecuencia de octavas se puede dar aislamiento de entre 6 dBA y 45 dBA

El segundo factor a tener en cuenta es el de las ondas de sonido ya que tanto la frecuencia incidente como el ángulo de incidencia disminuyen la capacidad aislante del material donde se puede llegar a dar un efecto de coincidencia en el cual la frecuencia de onda coincide con la frecuencia de vibración del panel.

### 2.2.2.2. Aislamiento por tabiques dobles.

Está determinado por trabajar en un sistema de masa-resorte-masa en el cual se encuentran dos tabiques exteriores los cuales deben contar con espesores y densidades diferentes para evitar el efecto unísono, en el cual, dos paneles iguales tendrían a manejar mismos comportamientos ante mismas frecuencias perdiendo el efecto aislante buscado ya que se podría dar el efecto de coincidencia previamente nombrado.

Entre los dos paneles se encuentra una cavidad llena de aire en el cual el aire funciona como resorte donde las ondas sonoras sufren un desgaste energético transformando las mismas en energía calórica.

Para realizar la unión entre ambos tabiques es necesario evitar los llamados puentes acústicos por lo tanto es necesario utilizar amortiguadores los cuales se encargan de realizar la función de un resonador absorbente el cual transfiere las ondas de sonido a la cavidad de aire y evitando que estas ondas pasen entre los paneles instalados.

### 2.2.2.3. Aislamiento mediante sistemas compuestos.

Cuenta con un sistema similar al de aislamiento por tabiques dobles donde se hace un mejoramiento en la cavidad donde se hace un cerramiento vertical con un material absorbente el cual como se explicó previamente se encargará de hacer la función de la cámara de aire, mejorando la función de esta debido a las propiedades

absorbentes de dicho material ya que la porosidad de este genera un mayor desgaste energético el cual se convierte en energía térmica.

Para evitar los puentes acústicos previamente nombrados, así como mejorar el aislamiento acústico se implementan mejoras al sistema en cuestión utilizando las siguientes variaciones:

- Utilización de caras dobles con estructura independiente, donde se colocan dos estructuras separadas donde, en cada tabique se utiliza doble capa con variación de material unidos a un material aislante y las estructuras separadas mediante una cámara de aire o un material aislante
- Utilización de doble cara en tabique con material aislante y cavidad de aire interna, permitiendo una mejor vibración de los tabiques y generando cámaras de aire entre los mismos y el material aislante.

Así como en las dos variaciones propuestas previamente se pueden generar diversos tipos de variaciones mientras se consideren como principales factores a tener en cuenta el costo del sistema, ya que el aumento de materiales y espesores aumenta los costos; y evitar la formación de puentes acústicos entre los materiales aplicados.

### 2.2.3. Sistemas complementarios.

#### 2.2.3.1. Aislamiento en aberturas (Ventanas y Puertas).

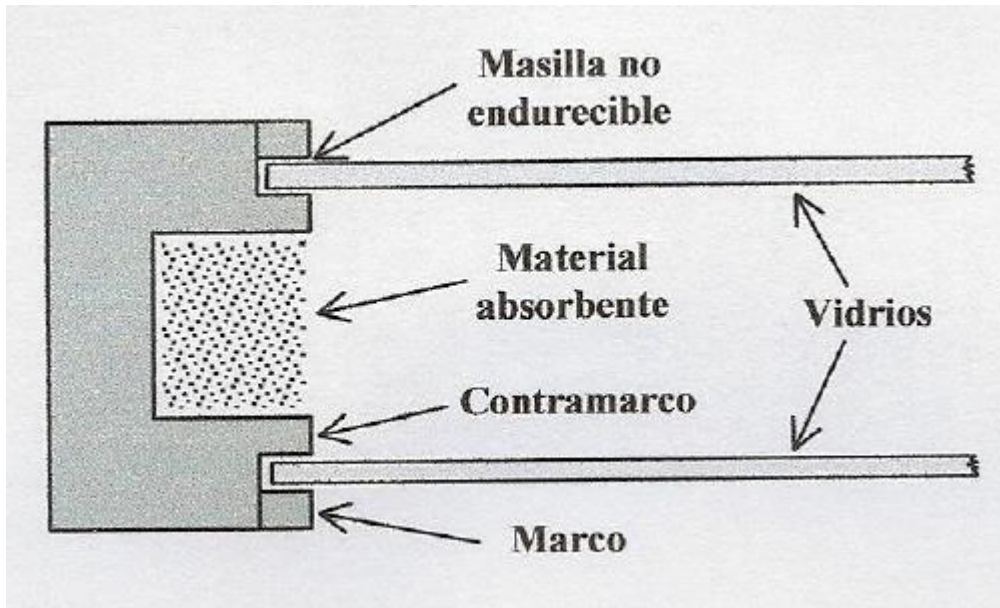
En el tema de aislamiento acústico los puntos más vulnerables al ruido se encuentran en ventanas y puertas debido a que los temas de peso y cierre son fundamentales para la constante manipulación de los elementos en cuestión.

- Ventanas: Al ser estas un elemento arquitectónico esencial en las viviendas debido a que permite el acceso de luz y ventilación natural al igual que permite una vista al exterior de la vivienda, las ventanas en las viviendas cada vez tienden a ser más grandes y ubicadas en mayor cantidad, sin embargo, las ventanas son el punto por el que penetra más fácilmente el ruido incidente en fachadas.

Para un buen aislamiento acústico en ventanas el concepto más utilizado es el de partición doble, el cual maneja la misma mecánica que el aislamiento por tabiques dobles, mediante el doble vidriado hermético (DVH), para el caso de aislamiento de vidrios es conveniente el uso de vidrios gruesos para atender la ley de masas donde se dice que mientras mayor el espesor de un elemento constructivo mayor el aislamiento acústico del mismo, los espesores comercialmente suelen encontrarse entre 6 y 8 mm en cada vidrio utilizado y el espesor de la cavidad interior depende del espacio disponible y

el requerimiento de aislamiento. Para el buen sellamiento de los marcos, así como para evitar puentes acústicos en las juntas se suele complementar el sistema utilizando materiales absorbentes como se muestra en la figura 9

Figura 9: Aislamiento acústico en ventanas.



Fuente: SALINAS, Jorge. ACUSTICA ARQUITECTONICA. p.22.

Los materiales para la insonorización de ventanas se pueden hacer con el vidrio convencional cuyas especificaciones se mostraran en el subcapítulo de materiales, sin embargo los constructores recomiendan para un ahorro de espesores el uso de vidrio laminar el cual consta de láminas de vidrio unidas por un plástico intermedio el cual suele ser Butiral de Polivinilo (PVB), este además de permitir reducir el espesor de los cristales a ser utilizados, otorga elasticidad en las láminas aumentando su eficiencia absorbente. La utilización de este reduce la dependencia de aislamiento con respecto a la frecuencia crítica gracias al efecto de amortiguamiento de la capa intermedia elástica, de este modo se mejoran las prestaciones de un vidrio y se conforma una ventaja adicional la cual es la conformación de un vidrio de seguridad.

- Aislamiento en puertas: Debido a que las puertas se encuentran en la parte interior de la vivienda las principales fuentes emisoras de ruido son los residentes de la vivienda y según la emisión de los mismos se pueden definir distintos tipos de puertas. Las puertas convencionales brindan un aislamiento acústico aproximado de entre 20 y 30 dBA según los materiales y el peso por

unidad de área de las mismas como se explicó previamente mientras mayor peso y espesor del sistema de insonorización mayor será el aislamiento acústico por lo tanto se puede utilizar puertas en acero para las puertas que dan acceso a áreas comunes o al exterior de las viviendas, sin embargo, no se puede exceder mucho en el tema de peso ya que genera problemas mecánicos en las puertas.

Otra solución aplicable para insonorización de puertas, si se cuenta con espacio disponible, es el mecanismo de puerta doble el cual en puertas convencionales macizas se puede brindar una reducción de hasta 50 dBA.

En un tercer caso para la insonorización de puertas se puede aplicar un sistema similar al de las ventanas utilizando en la parte interior de las puertas placas conformadas por materiales absorbentes o en algunos casos se pueden hacer puertas utilizando estos materiales.

#### 2.2.3.2. Aislamiento en techos.

Los llamados falsos techos o techos aparentes son el método por excelencia para el aislamiento acústico, estos techos cuentan con varios temas a favor donde en el tema a tratar (aislamiento acústico) es el que da como inicio la creación de los techos mencionados, esto debido a que se realizaban con la necesidad de aislar el ruido en zonas llamadas como tranquilas, el funcionamiento de los mismos para dar mejor aspecto arquitectónicamente a los techos cubriendo el techo formado por la estructura y dando un espacio para alojar canalizaciones y todo tipo de instalaciones sin la necesidad de empotrar estas en la estructura, esto llevó a la utilización de los falsos techos en todo tipo de inmuebles dando como resultado que su uso principal dejara de ser el aislamiento acústico sin embargo, la mayoría de estos cuentan con esa capacidad de aislamiento.

El diseño de los techos con aislamiento acústico es similar al de aislamiento por tabiques dobles, debido a que la distancia entre la placa del techo de la estructura y el falso techo, la cual debe respetar distancias entre 20 y 30 cm, forman una cámara de aire la cual como se explicó en el sistema de tabiques dobles convierte las ondas de sonido en energía térmica. Siendo la placa de la estructura en hormigón el cual cuenta con una capacidad de absorción  $\alpha$  de entre 0,01 y 0,04 según la frecuencia como se mostrará en la tabla 3 explicada en el subcapítulo de materiales; y utilizándose como falso techo un material aislante con una densidad que depende de la capacidad portante de la estructura que realiza la suspensión y la estructura de la vivienda o edificio.

La suspensión de los techos se suele hacer con estructuras metálicas con amortiguadores para evitar puentes acústicos, y al igual que en los casos de tabiques dobles se puede colocar un material absorbente para mejorar la calidad del aislamiento, sin embargo, dicho material no suele tener un espesor tan alto

dejando la cámara de aire con espacio suficiente para el alojamiento de las instalaciones requeridas.

- Techos de última generación: En los techos exteriores se realizan procedimientos distintos de fabricación de los mismos los cuales según BRESSIANI <sup>21</sup> “deben ser capaces de soportar fuertes vientos y cargas pesadas; y tener un elevado aislamiento térmico y poder de absorción sonora siendo estas las nuevas cualidades de los llamados techos de última generación”
- Para otro caso de aislamiento acústico en cubiertas se ha implementado un sistema llamado terrazas ecológicas que, según Camacho<sup>22</sup> consta de utilizar espacios abiertos revestidos con sustrato vegetal, este sistema además de contar con todas las características ecológicas que propone cuenta con características que incrementan el aislamiento termo-acústico generando protección contra el ruido gracias a las barreras vegetales, que actúan como pantallas acústicas.

### 2.3. MATERIALES

Según ROUGERON<sup>23</sup> se pueden clasificar los materiales aislantes según su estructura dividiéndose entre materiales fibrosos y materiales con estructura celular, como se muestra en la tabla 3 los materiales también dependen de su origen y cuentan con características propias de aislamiento acústico.

Según el origen de los materiales y la composición de los mismos estos pueden ser considerados como materiales renovables, sostenibles o contaminantes, siendo los materiales contaminantes los que no pueden ser reciclados ni reutilizados y producen un alto impacto ambiental durante su fabricación, utilización y desecho de estos al final de su vida útil, los materiales contaminantes son principalmente materiales de origen petroquímico, polímeros y algunos minerales según su composición.

En los numerales siguientes se explicará la composición de los materiales, así como el impacto ambiental que estos producen para clasificarlos como materiales renovables, sostenibles o contaminantes.

---

<sup>21</sup> BRESSIANI, Ricardo [et al.]. 2010. Techos de última generación para edificaciones exigentes, Construdata, Materiales y construcción. ISSN 2322-6552.

<sup>22</sup> CAMACHO, Claudia [et al.]. 2009 terrazas ecológicas, ciudades que respiran, Construdata, Diseños y proyectos. ISSN 2322-6552.

<sup>23</sup> ROUGERON, Claude. *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. Reverte, 1977

Tabla 3: Clasificación de materiales aislantes

<b>Material</b>	<b>Estructura</b>	<b>Origen</b>	<b>Propiedades acústicas</b>	<b>Densidad superficial aproximada (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\alpha^*</math></b>
Lana de Vidrio	Fibroso	Mineral	Absorbente	40 - 80	0,54 - 1,07
Lana de roca	Fibroso	Mineral	Absorbente	145	0,2 – 0,9
Fibra de amianto (asbesto) <sup>c</sup>	Fibroso	Mineral	Absorbente	---	---
Fibra de madera	Fibroso	Vegetal	Absorbente	250 - 1000	0,3 – 0,63
Fibra de lino	Fibroso	Vegetal	Absorbente	250 - 700	0,4 – 0,63 **
Fibragloss (hormigón de fibra de madera)	Fibroso	Mineral-Vegetal	Absorbente	300 - 600	0,3 – 0,6
Fibra de Kenaf	Fibroso	Vegetal	Absorbente	47 - 132	0,56
Hormigones ligeros	Celular	Mineral	Aislante	305 - 1600	0,02 – 0,09
Hormigones armado	Celular	Mineral	Aislante	2400	0,01 – 0,02
Ladrillo liso	Celular	Mineral	Aislante	1200 - 1600	0,01 – 0,05
Corcho	Celular	Vegetal	Absorbente	100 - 150	0,38 – 0,64
Vidrio celular	Celular	Mineral	Absorbente	145 - 160	0,35
Vidrio	Celular	Mineral	Aislante	2500	0,04 – 0,07

Espumas de poliestireno	Celular	Resina termoplástica de síntesis (petroquímica)	Absorbente	30-95	0,55 – 0,83
Espumas de poliuretano	Celular	Resina termoplástica de síntesis (petroquímica)	Absorbente	30	0,44 – 0,87
Espumas fenólicas	Celular	Polímero (Petroquímica o carboquímica)	Absorbente	≈ 60**	≈ 0,75**
Espumas de cloruro de vinilo	Celular	Polímero (Petroquímica o carboquímica)	Absorbente	≈ 60**	≈ 0,75**
Espumas de poliéster	Celular	Polímero (Petroquímica o carboquímica)	Absorbente	≈ 60**	≈ 0,75**
Espumas de ebonita	Celular	Polímero (Petroquímica o carboquímica)	Absorbente	≈ 60**	≈ 0,75**
Espumas de urca-formol	Celular	Polímero (Petroquímica o carboquímica)	Absorbente	≈ 60**	≈ 0,75**
Lamina de plomo <sup>c</sup>	Fibroso	Mineral	Aislante	11350	V = 0
Lamina con base de caucho	Fibroso	Polímero	Aislante	950	0,04 – 0,1
Lamina con base en bitumen	Fibroso	Petroquímica	Aislante	1100	0,05 – 0,22
PYL (placa de yeso laminado)	Celular	Mineral	Aislante	> 600	0,09 – 0,29
Lamina de acero	Celular	Mineral	Aislante	7850	V = 0

Fuente: el autor

\* Los valores varían según la frecuencia, espesores y procesos de fabricación

\*\* Valores aproximados según la composición, densidad o relación con otros materiales de origen o densidades similares (estos valores no son reales por lo tanto deben ser verificados en laboratorio).

<sup>c</sup> Materiales altamente contaminantes prohibidos por distintas autoridades ambientales

V es un valor despreciable debido a su cercanía a 0 se considera = 0

### 2.3.1. Lanas Minerales.

Según Afelma<sup>24</sup>, las lanas minerales se distinguen en dos familias las cuales son la lana de roca y la lana de vidrio fundiendo rocas y arena basáltica respectivamente, tiene una propiedad mineral lo cual la convierte en un material sostenible y respetable con el medio ambiente, las propiedades elásticas del material permiten una perfecta disipación de energía sonora convirtiendo esta en energía térmica, realizando una reducción de nivel de ruido de hasta 70 dBA.

Debido a su composición mineral y su alta duración son considerados materiales sostenibles ya que el impacto ambiental que estos generan es mínimo y pueden ser reutilizados bajo procesos sencillos de reciclaje.

### 2.3.2. Tableros de madera de alta densidad.

El **HDF** por sus siglas en inglés (High Density Fibreboard) se trata de un tablero elaborado de fibras de distintos tipos de madera, la cual se ha desfibrado y eliminado la lignina que poseían; las fibras obtenidas se aglutinan con resinas sintéticas mediante procesos de alta presión y tratamiento térmico. Los procesos previamente nombrados generan los HDF con densidades superiores a 850 Kg/m<sup>3</sup> hasta  $\approx 1400$  Kg/m<sup>3</sup>.

El origen vegetal de dichos tableros es amigable con el medio ambiente, haciendo de este un material sostenible que permite ser aplicado para aislamiento termo-acústico y permitiendo un aspecto agradable a la vista el cual puede ser utilizado para tabiques de aislamiento acústico vertical.

---

<sup>24</sup> Asociación de Fabricantes Españoles de Lanas Minerales Aislantes (AFELMA), C/ Tambre, 21 28002 Madrid



### 2.3.3. Bloques de arcilla.

El más conocido de este material es el ladrillo formado por una pieza de arcilla cocida a altas temperaturas y moldeado mediante prensas, proceso mediante el cuales da uniformidad, tamaño y resistencias y se puede clasificar en 4 tipos diferentes: ladrillo Macizo, ladrillo Hueco, ladrillo Perforado y ladrillo Refractario. Además de los bloques de ladrillo convencionales se ha trabajado en bloques de *arcilla expandida* el cual es un agregado ligero de partículas esféricas con una estructura interna formado por espuma cerámica con alta porosidad y superficie rígida. Los bloques son formados con arcilla expandida y hormigón lo cual le da una alta resistencia siendo estos ligeros y manejables; Los bloques de arcilla expandida por su configuración ofrecen aislamiento acústico que permite que la energía sonora incidente sea reducida de gran manera.

### 2.3.4. Espumas plásticas.

Los productos en síntesis son derivados de la carboquímica o petroquímica dando como resultado a dos tipos de materiales los cuales son:

- Materiales termoplásticos, los cuales pueden ser modificados mediante el calor dando formas según los requerimientos
- Materiales termoendurecibles: los cuales se les da una forma definitiva después de realizarse la primera reacción calórica.

Los materiales en referencia también llamados “expandidos” son presentados bajo forma flexible o rígida y permiten varios niveles de aislamiento acústico según su composición.

Entre las espumas plásticas más utilizadas para el aislamiento acústico se encuentran:

- Poliestireno
- Polietileno
- Poliuretano

Aunque son los materiales más utilizados para el aislamiento acústico, el origen petroquímico de estos y el proceso de fabricación los hacen materiales que afectan de manera negativa el medio ambiente además de que la disposición de residuos de los mismos es compleja por su casi nula degradación y afectación al suelo y capas vegetales.

### 2.3.5. Placas de yeso laminado (PYL).

Es un material utilizado en la construcción el cual es fabricado mediante un proceso de laminación continua, este material es presentado en forma de placas rectangulares de textura lisa y con espesores y dimensiones variables.

Las placas, consisten en un alma de yeso de origen natural ligada a dos láminas superficiales de celulosa multihoja. Para su fabricación, se admite la utilización de distintos aditivos (reguladores de fraguado, espumógenos, endurecedores, etc.) y agregados (fibras minerales, vegetales, etc.), con el fin de facilitar su proceso de fabricación o para conseguir placas con determinadas propiedades mejoradas.

Según UNE-EN-520+A1<sup>25</sup> existen varios tipos de PYL siendo estas las de tipo A, H, E, F, P, D, R e I; donde cada tipo tiene composiciones y funcionamientos diferentes siendo los factores más importantes la utilización, materiales, densidad, dureza, resistencia.

### 2.3.6. Aglomerado de corcho y corcho proyectado.

El corcho es un material 100% natural de origen vegetal por lo tanto es el material de insonorización acústica más ecológico; su fabricación se hace mediante proceso de alta presión y su manejabilidad permite darle la forma requerida para ser proyectado en cualquier superficie.

Con la proyección en distintas superficies se obtiene un aislamiento con rotura de puentes térmicos con un diferencial de entre 12 a 15 grados, aislamiento acústico de hasta 30 DB.

---

<sup>25</sup> Norma reguladora de Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.

### CAPÍTULO 3: DISEÑO DE SISTEMA DE INSONORIZACIÓN APLICABLE

Los distintos sistemas de insonorización planteados en el presente capítulo se ven integrados a los requerimientos generales de las viviendas en Bogotá cubriendo tanto las zonas críticas afectadas por el ruido como cualquier área que se pueda ver afectada por este. Estos sistemas serán aplicados según los requerimientos de muro o zona a aislar.

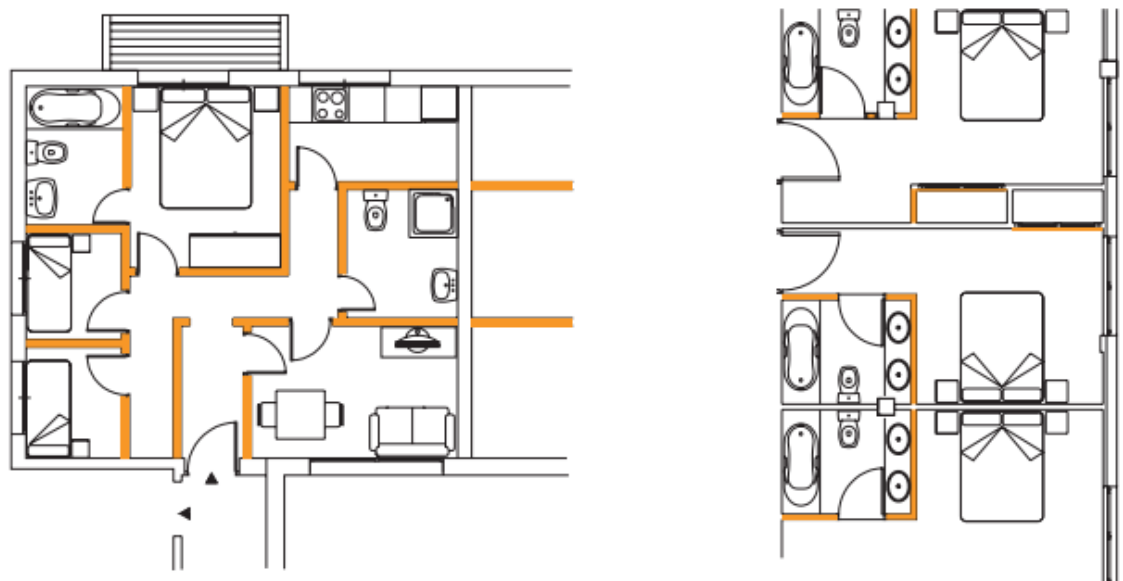
Cada sistema de insonorización presentado, describe la aplicación del mismo, así como recomendación de diseño generalizada que se puede ver modificada según los requerimientos de cada vivienda específica, al igual que se recomiendan los materiales a utilizar en cada sistema, siendo estos materiales en su mayoría sostenibles y de fácil adquisición como se presenta en el capítulo 2 del presente proyecto, donde se especifican las condiciones de cada material y sus utilidades. Cabe aclarar que, los materiales en cuestión son los que se encuentran en el mercado para uso de aislamiento acústico y generan el menor impacto ambiental. Se podrán utilizar materiales no convencionales de otras especificaciones siempre y cuando estos cuenten con una ficha técnica que cumpla con los distintos requerimientos de aislamiento acústico y resistencia, los cuales se podrán obtener mediante distintos orígenes, procesos de fabricación y pruebas de laboratorio como la presentada en el artículo científico “*Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf*”<sup>26</sup> donde se hace el estudio de la utilización de un material no convencional para la absorción acústica, como lo es la fibra de kenaf.

---

<sup>26</sup> SORIANO, Jaime Ramis, et al. Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. En *Materiales de construcción*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 2010. p. 133-143.

### 3.1. MUROS DIVISORIOS INTERIORES

Figura 10: Muros divisorios interiores en vivienda



Fuente: Guía de soluciones constructivas, p.28.

#### 3.1.1. Sistema de insonorización 1.

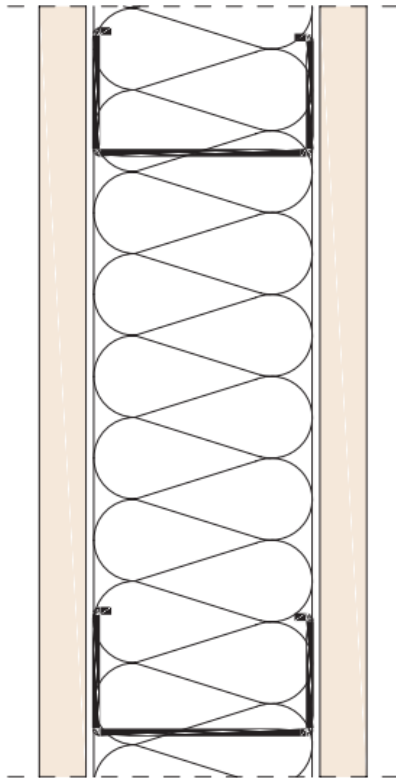
Se utiliza para muros divisorios en el interior de las viviendas, por lo tanto, el nivel de ruido que deben aislar estos es bajo y se concentra mayormente en los ruidos generados por los habitantes de la misma, especificados como fuentes emisoras de ruido por actividades domésticas y ocio, explicadas en el capítulo 1 numeral 1.1.1 y 1.1.1.4

Debido a que son muros que se encuentran en la parte interna de las viviendas y no deben soportar cargas altas tales como apoyo de varias personas, impactos frecuentes, desgaste por distintos factores como climáticos o uso constante de estos muros; las capacidades de diseño del sistema de insonorización para estos muros son las menores, utilizando para estos, materiales con menor capacidad aislante y un diseño simplificado que consta de una estructura autoportante simplificada y medios aislantes y absorbentes de bajos requerimientos.

Se realizará mediante un sistema de tabiques compuestos véase figura 11 donde se manejarán las siguientes especificaciones:

- Tabiques autoportantes de espesores diferentes conformados por tableros de madera de alta densidad
- Medio absorbente en corcho o fibra de madera
- Estructura en madera HDF a base de montantes separados y canales
- Ancho del sistema mayor a 80 mm

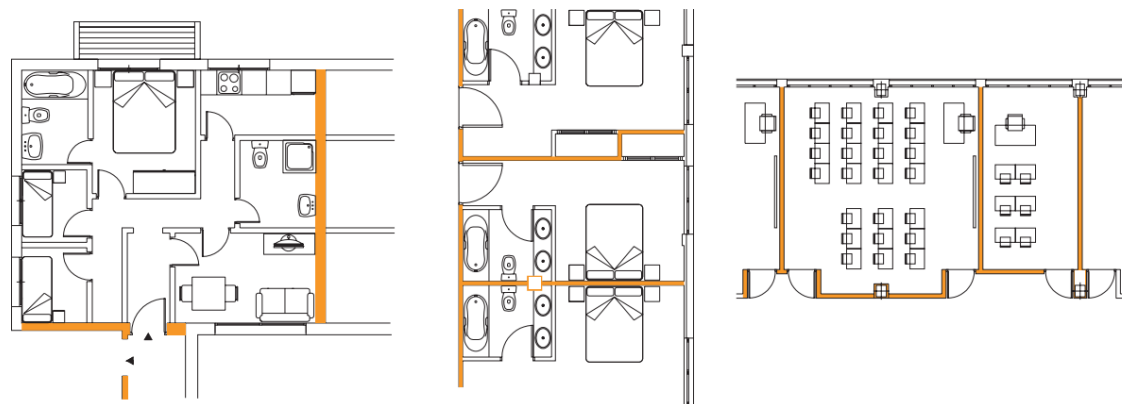
Figura 11: Sistema de insonorización 1



Fuente: Guía de soluciones constructivas

### 3.2. ELEMENTOS DE SEPARACIÓN VERTICAL

Figura 12: Elementos de separación vertical



Fuente: Guía de soluciones constructivas

#### 3.2.1. Sistema de insonorización 2.

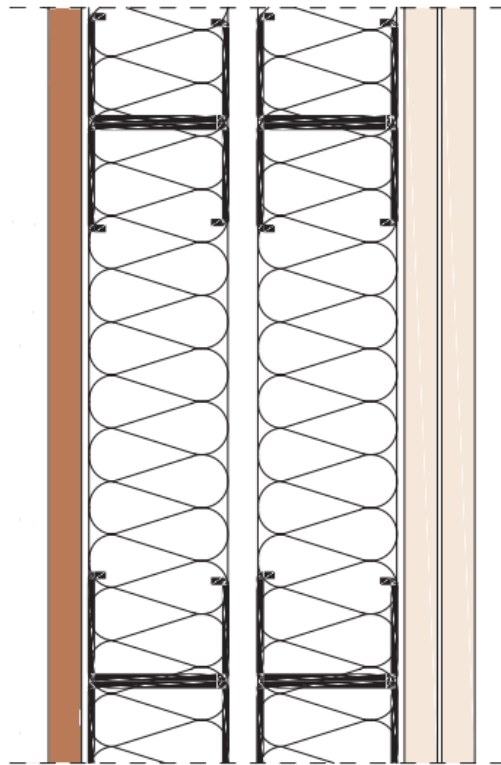
Se utiliza para muros divisorios en el exterior de las viviendas conectando a estas con zonas comunes u otras viviendas, por lo tanto, el nivel de ruido que deben aislar estos es medio y se concentra mayormente en los ruidos generados por los habitantes de la misma edificación, pequeños locales comerciales ubicados en esta y vehículos ubicados en parqueaderos privados, así como los servicios generales de la edificación como ascensores, equipos de bombeo, servicios de aseo. Las fuentes emisoras de ruido se especifican en el presente documento en el capítulo 1 numeral 1.1.

Debido a que son muros que se encuentran en la parte externa de las viviendas conectándolas a zonas comunes, deben soportar cargas medias tales como apoyo de varias personas sobre estos mayormente en lapsos cortos, además de que en algunos casos reciben impactos frecuentes, desgaste por distintos factores como climáticos o uso constante de estos muros. Las capacidades de diseño del sistema de insonorización para estos muros son medias, debido a que requieren de una resistencia de diseño para evitar ataques físicos y climáticos, utilizando para estos, materiales con menor capacidad aislante en la parte interna de la vivienda, y material aislante de mayores capacidades y resistente en la parte exterior de la misma. Cuenta con un diseño de complejidad media que consta de una estructura autoportante de resistencia media y materiales absorbentes con altos requerimientos.

Se realizará para la separación de zonas comunes y vivienda mediante un sistema de tabiques compuestos véase figura 13 donde se manejarán las siguientes especificaciones:

- Doble tabique autoportante de PYL exterior (zonas comunes)
- Tabique autoportante de HDF interior
- Doble estructura metálica no arriostrada a base de montantes separados y canales
- Cámara de aire
- Con medio absorbente en lana mineral
- Ancho del sistema mayor a 150mm

Figura 13: Sistema de insonorización 2



Fuente: Guía de soluciones constructivas

### 3.2.2. Sistema de insonorización 3.

Se utiliza para muros divisorios en el exterior de las viviendas conectando a estas con zonas comunes, por lo tanto, el nivel de ruido que deben aislar estos es medio y se concentra mayormente en los ruidos generados por los habitantes de la misma edificación, pequeños locales comerciales ubicados en esta y vehículos ubicados en parqueaderos privados, así como los servicios generales de la edificación como ascensores, equipos de bombeo, servicios de aseo. Las fuentes emisoras de ruido se especifican en el presente documento en el capítulo 1 numeral 1.1.

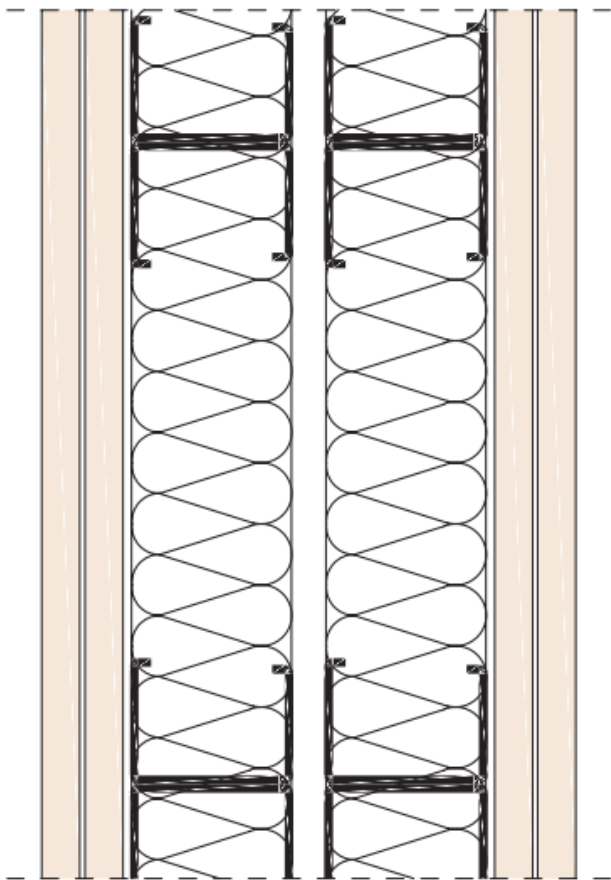
En virtud a que son muros que se encuentran en la parte externa de las viviendas conectándolas a zonas comunes, deben soportar cargas medias tales como apoyo de varias personas sobre estos mayormente en lapsos cortos, además de que en algunos casos reciben impactos frecuentes, desgaste por distintos factores como climáticos o uso constante de estos muros. Las capacidades de diseño del sistema de insonorización para estos muros son medias debido a que requieren de una resistencia de diseño para evitar ataques físicos y climáticos, utilizando para estos, materiales con menor capacidad aislante, pero de mayor resistencia en la parte interna de la vivienda, y material aislante de mayores capacidades y resistente en la parte exterior de la misma. Cuenta con un diseño de complejidad media que consta de una estructura autoportante de resistencia media y materiales absorbentes con altos requerimientos.

Se realizará para separación entre zonas comunes mediante un sistema de tabiques compuestos véase figura 14 donde se manejarán las siguientes especificaciones:

- Doble placa autoportante de PYL
- Doble estructura metálica no arriostrada a base de montantes separados y canales
- Con medio absorbente en lana mineral
- Cámara de aire
- Ancho del sistema mayor a 170mm



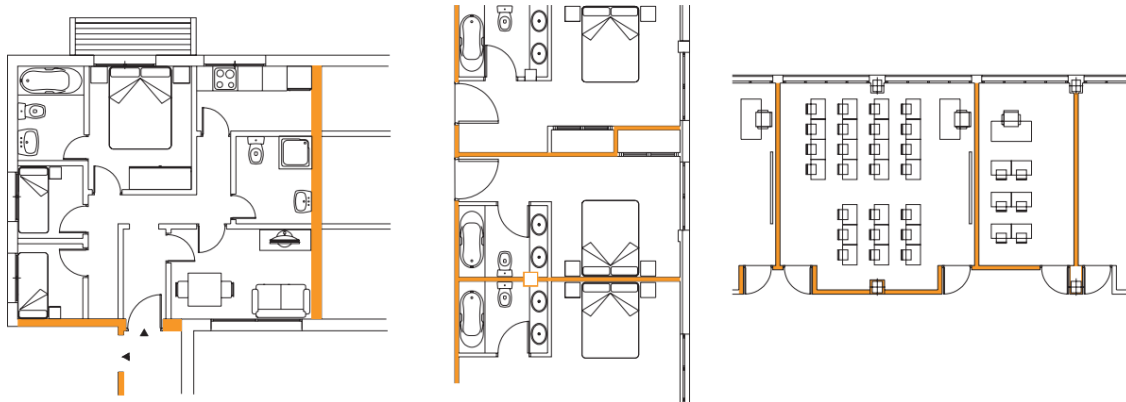
Figura 14: Sistema de insonorización 3



Fuente: Guía de soluciones constructivas

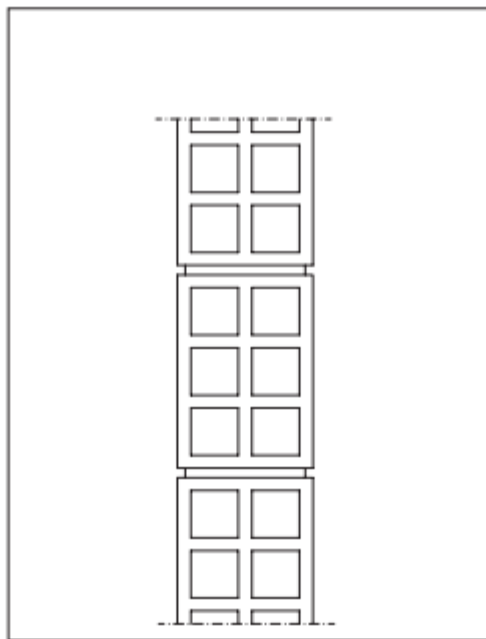
### 3.3. ELEMENTOS DE SEPARACIÓN VERTICAL ESTRUCTURALES

Figura 15: Elementos estructurales de separación vertical



Fuente: Guía de soluciones constructivas

Figura 16: silueta de muro estructural



Fuente: Guía de soluciones constructivas

#### 3.3.1. Sistema de insonorización 4.

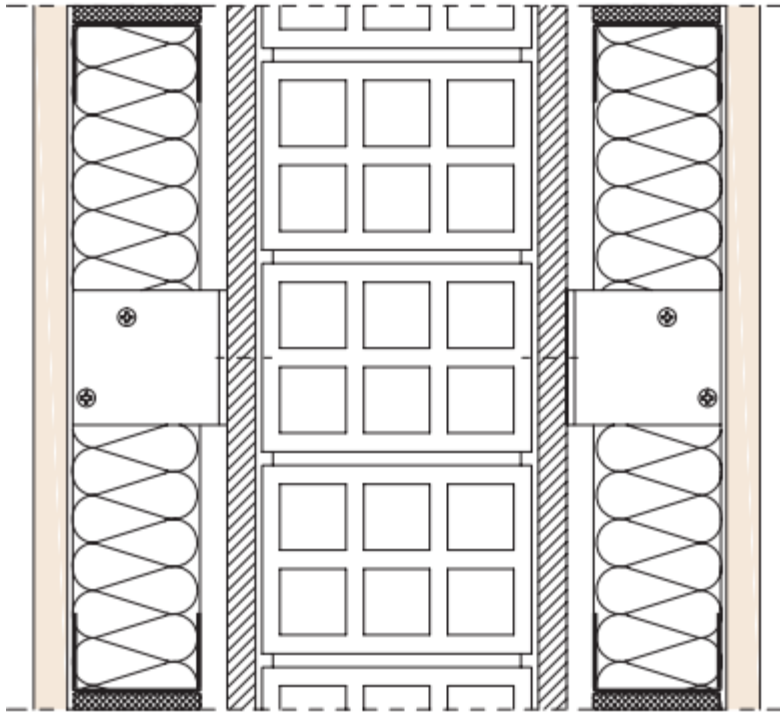
Se utiliza para complementar los muros estructurales que no pueden ser reemplazados por su aporte a la resistencia de la estructura y que se encuentran ubicados tanto en el interior como en el exterior de las viviendas conectando a estas con zonas comunes, por lo tanto, el nivel de ruido que deben aislar estos es medio y se concentra mayormente en los ruidos generados por los habitantes de la misma edificación, pequeños locales comerciales ubicados en esta y vehículos ubicados en parqueaderos privados, así como los servicios generales de la edificación como ascensores, equipos de bombeo, servicios de aseo. Las fuentes emisoras de ruido se especifican en el presente documento en el capítulo 1 numeral 1.1.

Como quiera que son muros que se encuentran la mayoría de las veces en la parte externa de las viviendas conectándolas a zonas comunes, deben soportar cargas medias tales como apoyo de varias personas sobre estos mayormente en lapsos cortos de tiempo, además de que en algunos casos reciben impactos frecuentes, desgaste por distintos factores como climáticos o uso constante de estos muros. Las capacidades de diseño del sistema de insonorización para estos muros son medias debido a que requieren de una resistencia de diseño para evitar ataques físicos y climáticos, utilizando para estos, materiales con menor capacidad aislante y absorbente. Cuenta con un diseño de complejidad baja ya que el muro estructural aporta aislamiento acústico según el material con el que es construido (véase tabla 3) y el sistema de insonorización consta de una estructura autoportante de resistencia media y materiales absorbentes con bajos y medios requerimientos según el muro estructural a complementar.

Se realizará insonorización de elementos de mampostería estructural un sistema de trasdosados autoportantes véase figura 17 donde se manejarán las siguientes especificaciones:

- Trasdoso autoportante en ambos lados en PYL o HDF
- Guarnecido de Yeso en ambos lados
- Trasdosos arriostrados
- Con medio absorbente en lana mineral o corcho
- Cámara de aire en cada lado
- Ancho del sistema mayor a 200 mm + ancho del muro estructural

Figura 17: sistema de insonorización 4



Fuente: Guía de soluciones constructivas

### 3.3.2. Sistema de insonorización 5.

Se utiliza para complementar los muros estructurales que no pueden ser reemplazados por su aporte a la resistencia de la estructura, y que se encuentran ubicados en el interior de las viviendas, el sistema de insonorización no debe soportar cargas altas tales como apoyo de varias personas sobre estos, impactos frecuentes, desgaste por distintos factores como climáticos o uso frecuente sobre el sistema. Las capacidades de diseño del sistema de insonorización para estos muros son las menores utilizando para estos materiales con menor capacidad aislante y un diseño simplificado en un solo lado del muro (el lado que reciba la mayor cantidad de ondas de sonido) que consta de una estructura autoportante simplificada y medios aislantes y absorbentes de bajos requerimientos.

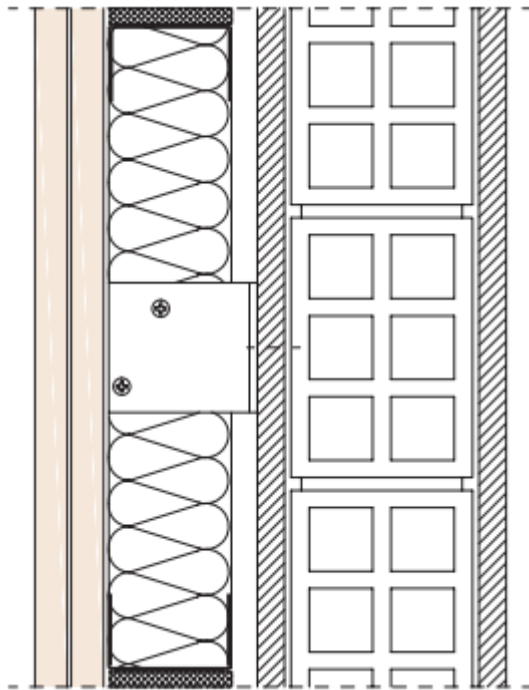
Se entiende que son muros que se encuentran en la parte interna de las viviendas y su principal función es de aporte estructural el sistema de insonorización no debe contar con alta resistencia a cargas ni condiciones climáticas o desgaste. Las capacidades de diseño del sistema de insonorización para estos muros son bajas

debido a que requieren de una resistencia de diseño nula para evitar ataques físicos y climáticos, utilizando para este sistema, materiales con menor capacidad aislante. Cuenta con un diseño de complejidad media que consta de una estructura autoportante de resistencia baja y materiales absorbentes con bajos requerimientos.

Se realizará insonorización de elementos de mampostería estructural un sistema de trasdosados autoportantes interior tipo mixto véase figura 18 donde se manejarán las siguientes especificaciones:

- Trasdoso autoportante en PYL o HDF
- Guarnecido de Yeso
- Trasdoso arriostrado
- Con medio absorbente en lana mineral o corcho
- Cámara de aire
- Ancho del sistema mayor a 100 mm + ancho del muro estructural

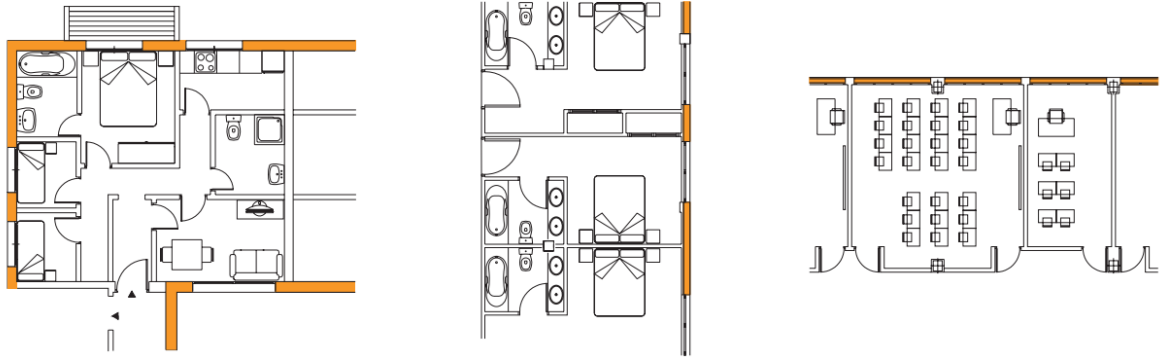
Figura 18: Sistema de insonorización 5



Fuente: Guía de soluciones constructivas

### 3.4. FACHADAS

Figura 19: Fachadas



Fuente: Guía de soluciones constructivas

#### 3.4.1. Sistema de insonorización 6.

Se utiliza para complementar los muros externos de la edificación que no pueden ser reemplazados por su aporte al recubrimiento de la misma, estos se encuentran ubicados en el exterior de las viviendas conectándolas mayormente a la calle o a zonas comunes expuestas a la intemperie. por lo tanto, el nivel de ruido, que deben aislar estos, es alto y se concentra mayormente en los ruidos generados por tráfico e industria de distintas especificaciones. Las fuentes emisoras de ruido que debe aislar este sistema son las que más afectan a los habitantes de viviendas como se especifican en el presente documento en el capítulo 1 numeral 1.1.1. y específicamente en 1.1.1.1. (Tráfico) y 1.1.1.2. (Industria).

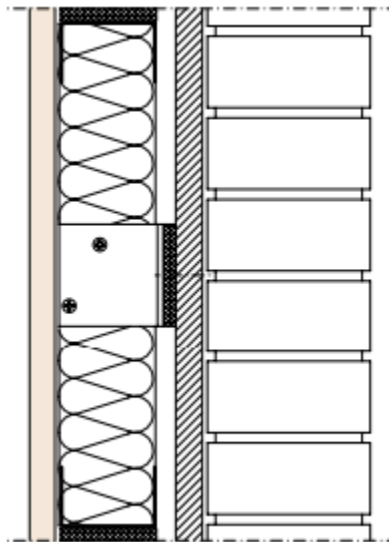
En este Sistema, los muros se encuentran en la parte externa de las viviendas y son los que reciben la mayor cantidad de ruido urbano, ubicando el sistema de insonorización en la parte interna de la vivienda este debe soportar mayormente condiciones climáticas por los cambios de temperatura, así como un recubrimiento especial para evitar el desgaste del mismo por filtraciones de agua y factores biológicos tales como hongos o plagas que intenten dañar el sistema, las capacidades de diseño del sistema de insonorización para estos muros son las más altas debido a que requieren de una resistencia de diseño alta para evitar ataques físicos y climáticos. Para este sistema se deben utilizar materiales con la mayor capacidad aislante. Cuenta con un diseño de complejidad alta que consta de materiales y recubrimientos de altas capacidades, además de aislamiento y absorción de ondas de sonido con capacidades mayores a las de los sistemas previamente propuestos.

Cabe aclarar que, aunque el muro de la fachada aporte aislamiento acústico (véase tabla 3) el sistema de insonorización en esta debe contar con los mayores estándares de aislamiento para evitar la filtración del ruido que recibe al ser este ruido el más perjudicial para los habitantes de la vivienda.

Se realizará insonorización de elementos de mampostería estructural un sistema de trasdosados autoportantes interior véase figura 20 donde se manejarán las siguientes especificaciones:

- Trasdoso arriostrado autoportante de PYL o HDF
- Cámara de aire
- Recubrimiento de cemento
- Ladrillo perforado
- Lana mineral (preferiblemente en lana de vidrio)
- Ancho del sistema superior a 200 mm

Figura 20: Sistema de insonorización 6



Fuente: Guía de soluciones constructivas

Nota: si el muro de la fachada no es estructural puede ser reemplazado por un sistema con mayores capacidades aislantes y resistentes, solicitando este un diseño especial enfocado tanto en el aislamiento acústico como en la resistencia máxima a los distintos ataques biológicos, climatológicos, físicos y químicos además de que requerirá de una impermeabilización de condiciones especiales debido a los materiales (sostenibles) utilizados para la realización del muro.

### **3.5. SISTEMAS DE INSONORIZACIÓN COMPLEMENTARIOS (RECOMENDADOS)**

#### **3.5.1. Insonorización en ventanas.**

Se utilizará sistema de doble vidriado hermético con lamina exterior en PVB en interior en vidrio convencional.

#### **3.5.2. Insonorización en puertas.**

Serán utilizadas puertas conformadas por láminas de HDF pegadas a una capa interior en aglomerado de corcho.

#### **3.5.3. Insonorización en pisos y techos.**

Ya que la insonorización en pisos requiere procedimientos costosos y se suele realizar en materiales altamente contaminantes como lo son laminas en base de caucho sintético y laminas con base en bitumen se hará únicamente insonorización en techos mediante el siguiente sistema:

- Estructura metálica suspendida con amortiguadores.
- Doble lamina exterior de HDF y lamina interior en fibra mineral.
- Cámara de aire con espesor mayor a 250 mm
- Espesor mínimo de 350 mm

#### **3.5.4. Insonorización en cubiertas.**

Se realizará mediante cubiertas ecológicas con la metodología propuesta en las EcoCubiertas.

### **3.6. COSTOS**

Como se especificó en la sección de limitaciones este proyecto se encuentra limitado a la teoría por lo tanto la definición de costos reales no es viable ya que no se puede hacer una proyección de dimensionamiento de espesores requeridos al no contar con los datos técnicos de los materiales; a continuación, se dan presupuestos teóricos hallados mediante páginas web de distribuidores donde se hace únicamente la proyección del costo de ciertos materiales sin conocer costos reales.

Los costos varían según los proveedores, fabricantes, ubicación de inmueble y constructores por lo tanto en muchos casos no pueden llegar a ser definidos los precios hasta definirse realmente las dimensiones y cualidades esperadas de los materiales.



### 3.6.1. Costo de muro tradicional.

Según la tabla 4 el precio de muro convencional en mampostería oscila entre los 37 y 75 dólares (USD) por metro cuadrado incluyendo mano de obra y materiales.

Tabla 4: Costo de mampostería por m<sup>2</sup> año 2017

Item	Unidad	Materiales	ManoDeObra	Costo	Costo-USD
<b>Mampostería</b>					
Costo mampostería en vivienda unifamiliar de 85 m <sup>2</sup>	g°	134443	89107	223550	13631
Cimiento corrido hormigón de cascote	m3	1099	899	1999	122
Pared bloque de hormigón 20 x 20 x 40 cm	m2	354	191	545	33
Pared bloque de hormigón 10 x 20 x 40 cm	m2	260	140	400	24
Viga, dintel, encadenado de hormigón armado	ml	152	196	348	21
Pared ladrillo macizo común por m3	m3	2539	1549	4088	249
Pared ladrillo macizo común e=15 cm por m2	m2	381	232	613	37
Pared ladrillo macizo común e=30 cm por m2	m2	762	465	1226	75
Pared ladrillo macizo visto por m3	m3	2539	1937	4476	273
Pared ladrillo hueco 8 x 18 x 33 cm	m2	280	211	491	30
Pared ladrillo hueco 12 x 18 x 33 cm	m2	300	227	527	32
Pared ladrillo hueco 18 x 18 x 33 cm	m2	362	273	636	39
Pared bloque HCCA 10 cm	m2	331	250	581	35
Pared bloque HCCA 15 cm	m2	435	328	763	47
Pared bloque HCCA 20 cm	m2	559	422	981	60
Colocación puerta / ventana	m2	0	681	681	42
Colocación barandilla	ml	0	354	354	22
Colocación mesada encimera	u°	0	591	591	36

Fuente <http://www.solucionesespeciales.net/Inmobiliaria/Costos.pdf>

### 3.6.2. Costos de materiales de insonorización

- Aglomerado de corcho:

En la tabla 5 se muestra el precio por m<sup>2</sup> de materiales y mano de obra, para realizar aislamiento acústico con aglomerado de corcho con espesor de 25mm, de igual modo se pueden calcular los distintos espesores 25mm, 30mm, 40mm, 50mm, 60mm, 70, 80mm y dar el costo total en pesos (COP) de estos \$28.317<sup>83</sup>, \$35.569<sup>98</sup>, \$42.752,37, \$53.002<sup>98</sup>, \$66.705<sup>32</sup>, \$77.165<sup>14</sup>, \$92.924<sup>59</sup>, respectivamente.

Tabla 5: Costo de m<sup>2</sup> de aislamiento con aglomerado de corcho, espesor de 25mm

NAT030	m²	Aislamiento con aglomerado de corcho expandido.			
Aislamiento acústico por placa de aglomerado de corcho expandido, de 25 mm de espesor, color negro.					
Descompuesto (código de producto)	Und.	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt16acg010aa	m²	Placa de aglomerado de corcho expandido, de 25 mm de espesor, color negro, resistencia térmica 0,65 m²K/W, conductividad térmica 0,036 W/(mK), Euroclase E de reacción al fuego, de aplicación como aislante térmico y acústico.	1,050	27726,56	29112,89
mo054	H	Oficial 1ª colocador de aislantes.	0,078	11414,19	890,31
mo101	H	Ayudante colocador de aislantes.	0,078	8131,05	634,22
	%	Herramienta menor	2,0	30637,42	612,75
	%	Costos indirectos	3,0	31250,17	937,51
Mantenimiento decenal: \$ 643,75 en los primeros 10 años.		Total:	32187,68	Total:	32187,68

Fuente: <http://www.colombia.generadordeprecios.info>

- Espuma de poliuretano: El coste medio por m<sup>2</sup> de proyección de espuma de poliuretano de 3 cm espesor sin medios auxiliares, entre 6 y 7€ m<sup>2</sup>. Provincia de Valencia <https://precio.habitissimo.es/proyectar-poliuretano>.

### 3.6.3. Evaluación de sobrecostos en implementación de sistemas de insonorización en vivienda.

Para realizar un análisis del costo-beneficio en la implementación de sistemas de insonorización en vivienda José M. Romo-Orozco, 2014<sup>27</sup>, realizó una tesis doctoral que contenía todas las variables aplicables para cuantificar y estimar si era viable la implementación de aislamiento acústico en vivienda, y si aceptable por la comunidad aplicar sistemas de aislamiento acústico, el trabajo de investigación en mención llegó a las siguientes conclusiones:

Los modelos de regresión utilizados denotan que en todos los casos la variable con mayor impacto en la probabilidad de que el individuo esté dispuesto a pagar por mejorar las condiciones acústicas de la vivienda está relacionada con las ofertas que se le presentan. Esto confirma que el problema de la contaminación acústica tiene aristas que en todo caso se manifiestan económicamente, aun cuando esta manifestación no sea precisa; pero también sugiere que, en los momentos actuales, la mitigación de los efectos de la contaminación acústica podría supeditarse a otras necesidades que resultan más urgentes, que no importantes. Por ello resulta relevante aplicar rigurosamente las exigencias normativas a través de soluciones que no impacten significativamente el coste de la vivienda y aprovechar estrategias de comunicación, que no se basen únicamente en herramientas visuales, para transmitir la mejora que significa el cambio de los procesos de diseño y edificación.

A finales del 2012, la evaluación de los costes y los beneficios indica que cada euro invertido en incrementar el aislamiento acústico de una vivienda en Barcelona, según lo establece el DB-HR, se ve compensado con lo que una familia promedio está dispuesta a pagar de incremento en el alquiler mensual por este concepto, lo que indica que la mejora es económicamente viable.

Así, con respecto al objetivo principal de la investigación, se ha demostrado que las personas están dispuestas a pagar por incrementar las prestaciones acústicas de sus viviendas mediante el uso de mejores procesos tecnológicos y constructivos, y que monetariamente la nueva normativa es pertinente, pues los beneficios cuando menos igualan a los sobrecostos de implementar estos procedimientos; a pesar de lo sectorizado que puede resultar como medida de mitigación, el DB-HR tiene un beneficio social que supera los costes aparejados a la transformación del sector de la edificación de viviendas, por lo que en estos momentos es una respuesta pertinente a la demanda de mejorar las prestaciones acústicas del parque residencial.

---

• <sup>27</sup> ROMO OROZCO, José M. Evaluación de los costes y beneficios de la implementación del aislamiento acústico en el mercado residencial de nueva planta en Barcelona. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC). Modalidad Tesis Doctoral, 2013

Posteriormente en el año 2016 el mismo José M. Romo-Orozco, en Colaboración de Carlos Ramiro Marmolejo Duarte y Francesc De Paula Daumal Domènech realizaron una publicación<sup>28</sup> en la revista CyTET llamada ¿Está compensado el sobrecoste de una mejor insonorización? Una evaluación para el mercado residencial barcelonés. Donde se realizó un modelo econométrico, presentándole a las personas el incremento en los costos de compra-venta y alquiler de vivienda mostrados en el cuadro 11.

Cuadro 11: Incrementos en los precios de compra-venta y alquiler para compensar el sobrecoste de producción de viviendas insonorizada (DB-HR en relación al NBE-CA-88)

Tipo de vivienda	Superficie (m <sup>2</sup> )	Valor de venta				Alquiler mensual	
		Solución 1		Solución 2		Solución 1	Solución 2
		€/m <sup>2</sup>	%	€/m <sup>2</sup>	%	€	€
A	110,33	43,74	1,09	49,85	1,24	17,60	20,05
B	89,78	32,84	0,82	43,46	1,08	10,75	14,23
C	108,33	29,72	0,74	35,64	0,89	11,74	14,08
D	86,35	34,95	0,87	37,38	0,93	11,00	11,77
E	97,26	43,38	1,08	51,78	1,29	15,38	18,36
F	101,62	33,43	0,83	41,04	1,02	12,39	15,21
G	52,52	33,92	0,85	41,06	1,02	6,50	7,86
Típica	80,00	34,95	0,87	37,38	0,93	10,19	10,90
Precio medio del alquiler:		14,61 €/m <sup>2</sup>					
Precio medio de compra-venta:		4.007,00 €/m <sup>2</sup>					
Int. mensual = alquiler / compra – venta:		0,36%					

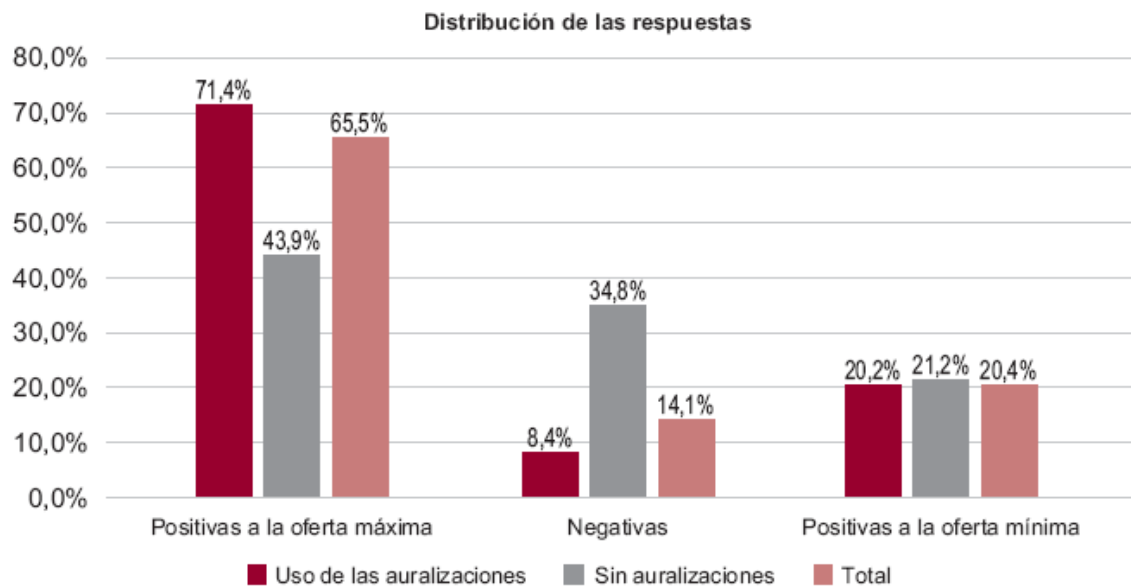
Fuente: ROMO OROZCO, J. M.; MARMOLEJO DUARTE, Carlos Ramiro; DAUMAL DOMÈNECH, Francesc de Paula. ¿Está compensado el sobrecoste de una mejor insonorización? Una evaluación para el mercado residencial barcelonés. *Ciudad y territorio, estudios territoriales*, 2016, vol. 48, no 189, p. 479

El modelo econométrico en cuestión maneja como principal variable a los sujetos dispuestos o no, véase Figura 21, a pagar los sobrecostos en las viviendas presentados en el cuadro 11, al igual que mostrando los beneficios de la implementación de los sistemas de insonorización en viviendas y la normativa que rige a estos, la respuesta de las personas fue favorable dando como resultado las siguientes conclusiones:

- <sup>28</sup> ROMO OROZCO, J. M.; MARMOLEJO DUARTE, Carlos Ramiro; DAUMAL DOMÈNECH, Francesc de Paula. ¿Está compensado el sobrecoste de una mejor insonorización? Una evaluación para el mercado residencial barcelonés. *Ciudad y territorio, estudios territoriales*, 2016, vol. 48, no 189, p. 471-486.

- Que el ruido es un problema social importante tanto que, incluso en escenarios macroeconómicos muy adversos como en el que se desarrolló la valoración, las personas están dispuestas a hacer un esfuerzo adicional por acceder a la ya de por sí sobrevalorada vivienda, siempre y cuando ofrezca garantías de calidad acústica.
- Por otra, que valores muy bajos de sobrecoste de aislamiento producen incredulidad en la demanda sobre la eficacia de los mismos. Mayor cuidado merece en ejercicios futuros, por ende, la determinación de los valores inferiores ofrecidos en el ejercicio de valoración.

Figura 21: Distribución de respuestas de disposición de implementar sistemas de insonorización en vivienda



Fuente: ROMO OROZCO, J. M.; MARMOLEJO DUARTE, Carlos Ramiro; DAUMAL DOMÈNECH, Francesc de Paula. ¿Está compensado el sobrecoste de una mejor insonorización? Una evaluación para el mercado residencial barcelonés. *Ciudad y territorio, estudios territoriales*, 2016, vol. 48, no 189, p. 480

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se plantean sistemas de insonorización con materiales sostenibles (aunque se requieren otros materiales que complementen estos sistemas en algunos casos) en muros de viviendas tanto unifamiliares como multifamiliares los cuales pueden reemplazar la mampostería no estructural y complementar los elementos estructurales de las mismas sin afectar la estructura de ningún modo. Los sistemas son adaptables a cualquier tipo de vivienda y espacio, así como pueden mitigar parcial o totalmente las ondas de sonido brindando así un aislamiento acústico que haga cumplir las distintas normativas de ruido permisible, brindando de este modo un mejoramiento en la calidad de vida de los habitantes de las viviendas.
- La ciudad de Bogotá se encuentra ante una problemática de ruido preocupante debido a que, en la mayor parte de esta, las emisiones de ruido superan en gran medida a las normativas y recomendaciones estipuladas, afectando de modo gradual a los habitantes de la ciudad en la mayoría de horas del día, siendo las áreas más vulnerables las que se encuentran cercanas a sectores de alto tráfico, tanto vehicular como aéreo, y sectores comerciales. Por lo tanto, se debe implementar medidas de regulación acústica, y ya que en muchos casos las medidas de regulación mediante autoridades ambientales no pueden ser impuestas por la dificultad de hacer efectivas las mismas, es necesario aplicar sistemas de aislamiento acústico en viviendas para de este modo prevenir repercusiones a corto y largo plazo en los habitantes de la ciudad.
- Hay todo tipo de sistemas de insonorización para viviendas, y cualquier tipo de espacios, que pueden ser conformados por materiales sostenibles y renovables los cuales según sus especificaciones técnicas cumplen de igual o mejor medida los requerimientos de aislamiento y absorción acústica que algunos materiales altamente contaminantes y mayormente utilizados. Los sistemas de insonorización cubren por completo cada aérea de las habitaciones que quieran contar con un completo aislamiento acústico tanto muros como pisos, techos, puertas, ventanas, mecanismos de servicio, etc., al igual que se puede realizar aislamiento acústico en las fachadas y cubiertas de las estructuras, todo esto mediante sistemas de insonorización amigables con el medio ambiente.
- Teóricamente se pueden realizar diseños de sistemas de insonorización con distintos niveles de complejidad que funcionan para el aislamiento acústico de las viviendas según las áreas que se requieran insonorizar; los sistemas de insonorización presentados cumplen con las especificaciones normativas tanto constructivas como ambientales, y pueden realizar variaciones de los mismos modificando dimensiones y materiales para lograr resultados esperados de aislamiento acústico y espacios arquitectónicos.

- En ciudades desarrolladas del mundo como Barcelona y Madrid, donde los problemas de ruido son realmente preocupantes la utilización de sistemas de insonorización es cada vez más común y requerida por sus habitantes, y sin importar el tema de sobre costos que estos puedan generar la comunidad es más consiente de la necesidad del cuidado de su salud ante la contaminación por ruido y por lo tanto un alto porcentaje de estas personas están dispuestas a pagar dichos sobre costos.
- El desarrollo del presente proyecto, es el punto de partida hacia nuevas investigaciones que se pueden dar dentro del siguiente contexto:
  - Estudio técnico: mediante pruebas de laboratorio y pruebas in situ de distintos sistemas de insonorización realizando un análisis específico de:
    - Materiales no convencionales (sostenibles) y sus capacidades aislantes y/o absorbentes de ondas de sonido, además, de la resistencia de dichos materiales a factores como clima, ataques físicos y químicos y posibilidad de uso en condiciones extremas.
    - Materiales, producidos en Colombia, no convencionales (sostenibles) y sus capacidades aislantes y/o absorbentes de ondas de sonido, además, de la resistencia de dichos materiales a factores como clima, ataques físicos y químicos y posibilidad de uso en condiciones extremas.
    - Distintos diseños según requerimientos de edificaciones específicas y fuentes de ruido incidentes en estas.
    - Utilización de sistemas complementarios con materiales sostenibles.
  - Realización de una evaluación de costos y presupuestos: para la implementación de sistemas de insonorización en el país teniendo en cuenta precio de implementación de los sistemas, disponibilidad de adquisición de las personas, disponibilidad de aplicación de los sistemas de insonorización en edificios nuevos para las constructoras, beneficios y desventajas del precio de vivienda con respecto a la implementación de sistemas de insonorización, precios de los distintos materiales y análisis de costo y valor de materiales convencionales y materiales sostenibles o renovables.
  - Análisis estructural de los sistemas de insonorización teniendo en cuenta los siguientes factores:
    - Modificación en el peso de la estructura al cambiarse la mampostería no estructural por sistemas de insonorización, así como la utilización de sistemas complementarios.

- Resistencia de los sistemas de insonorización para ser utilizados como elementos estructurales.
  - Utilización de sistemas de insonorización para la construcción de viviendas unifamiliares pequeñas y medianas.
  - Utilización de sistemas de insonorización para uso estructural tales como muros estructurales, placas de entrepiso, entre otros.



## BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, Jorge. Resumen del libro: El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una visión al 2040. *Revista de Ingeniería*, 2009, no 29, p. 156-162.
- AMAYA, Manuel y ANGEL, Carlos. Estado del Ambiente en Bogotá D.C. Línea Base Ambiental 2008. Secretaria Distrital de Ambiente, 2008. Pag 37-57.
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES ESPAÑOLES DE LANAS MINERALES AISLANTES (AFELMA). Diez Razones para utilizar las lanas minerales. Tambre, 2128002 Madrid.
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES ESPAÑOLES DE LANAS MINERALES AISLANTES (AFELMA). El ABC técnico del ruido. 2 ed. Madrid: AFELMA, 2001. 36 p.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE MATERIALES AISLANTES (ANDIMAT). Soluciones de Aislamiento Acústico. Madrid. Junio de 2009
- BELOJEVIC G, JAKOVLJEVIC B, ALEKSIC O. Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits. *Environ. Int.* 1997; 23:221–6.
- BERGLUND, Birgitta; LINDVALL, Thomas (ed.). *Community noise*. Stockholm: Center for Sensory Research, Stockholm University and Karolinska Institute, 1995.
- BERGLUND, Birgitta, et al. Guías para el ruido urbano. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS*, 1999.
- BRESSIANI, Ricardo [et al.]. 2010. Techos de última generación para edificaciones exigentes, Construdata, Materiales y construcción. ISSN 2322-6552. Disponible en: [http://www.construdata.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/BancoConocimiento/T/techos\\_de\\_ultima\\_generacion\\_para\\_edificaciones\\_exigentes/techos\\_de\\_ultima\\_generacion\\_para\\_edificaciones\\_exigentes.asp](http://www.construdata.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/BancoConocimiento/T/techos_de_ultima_generacion_para_edificaciones_exigentes/techos_de_ultima_generacion_para_edificaciones_exigentes.asp)
- BRIEDE, J.; ALARCÓN, Jimena. Estrategias sustentables aplicadas al contexto regional: diseño de tableros de madera y materias primas no convencionales para revestimiento decorativo. *Interiencia*, 2012, vol. 37, no 12, p. 927-933.

- BROOKHOUSER, P.E., WORTHINGTON, D.W. "Noise-Induced Hearing Loss in Children". Laryngoscope, 1992; 102; pp.645-655
- CAMACHO, Claudia [et al.]. 2009. Terrazas ecológicas, ciudades que respiran, Construdata, Diseños y proyectos. ISSN 2322-6552. Disponible en: [http://www.construdata.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/BancoConocimiento/T/terrazas\\_ecologicas/terrazas\\_ecologicas.asp](http://www.construdata.com.ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2048/BancoConocimiento/T/terrazas_ecologicas/terrazas_ecologicas.asp)
- CASAS GARCÍA, Oscar, Betancur Vargas, Carlos Mauricio y Montaña Erazo, Juan Sebastián. Revisión de la normatividad para el ruido acústico en. 1, Cali, Colombia: s.n., enero-junio de 2015, Entramado, Vol. 11, págs. 264-286.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Resolución 0627 (07, abril, 2006). donde se adopta la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.
- DE LA ROSA, Manuel. Ruido Industrial y Urbano. Madrid: s.n., 2000, Paraninfo, pág. 240.
- EBERHARDT, JL. The Influence of Road Traffic Noise on Sleep. Journal of Sound and Vibration 1988; 127(3):449-55.
- FERNÁNDEZ, Luis Velasco. *Estudio de la calidad de los aglomerados de corcho acústicos y vibráticos*. AITIM, 1974.
- GARCÍA, Nelson Afanador; GÓMEZ, Gustavo Guerrero; SEPÚLVEDA, Richard Monroy. Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 2012, vol. 22, no 1, p. 43-58.
- GUÍA DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS, con placa de yeso laminado y lana mineral para el cumplimiento del CTE. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Consejo Superior de Investigación Científica (CSIC). Edición actualizada Julio de 2016. Madrid – España. 2016
- GUSKI, R. Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. Noise Health 1999; 1:45–56
- HELLMUT T, CLASSENS T, KHINR R, KEPHALOPOULOS S (eds). World Health Regional Office for Europe and European Commission. Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen: WHO Regional Publications; 2011

- HOBSON J, Scientific American Library, W.H. Freeman and Company; 1989.
- INTERNATIONAL PROGRAM ON CHEMICAL SAFETY; INTER-ORGANIZATION PROGRAMME FOR THE SOUND MANAGEMENT OF CHEMICALS; WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2009*. World Health Organization, 2010.
- JIMÉNEZ, Julio Díaz; GIL, Cristina Linares. Efectos en salud del ruido de tráfico: Más allá de las "molestias". *Revista de Salud Ambiental*, 2015, vol. 15, no 2, p. 121-131.
- MASCHKE C, RUPP T, HECHT K. The influence of stressors on biochemical reactions: a review of present scientific findings with noise. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2000; 203:45-53.
- MATIN MONROY, M. Propiedades Físicas de Materiales de Construcción. Gran Canaria. Departamento de construcción Arquitectónica. Gran Canaria: Editorial de Construcción Arquitectónica (editorial. dCA). 2008
- MELI PIRALLA, Roberto. Diseño estructural. *México: Limusa*, 1985.
- MELI, Roberto. Mampostería estructural. La práctica, la investigación y el comportamiento sísmico observado en México. *Cuaderno de Investigación*, 1994, no 17, p. 3-23.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Reglamento Colombiano de construcción sísmo resistente. NSR-10, Segunda actualización, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, 2010.
- NL. C. Transportation noise, sleep and possible after-effects. *Environ Int*: 1996; 22: 105-16
- NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH, et al. Noise and Hearing Loss Consensus Conference. *JAMA*, 1990, vol. 263, p. 3185-3190.
- PACHECO, José; FRANCO, Juan F.; BEHRENTZ, Eduardo. Caracterización de los niveles de contaminación auditiva en Bogotá: Estudio piloto. *Revista de ingeniería*, 2009, no 30, p. 72-80.

- PAUNOVIC K, JAKOVLJEVIC B, BELOJEVIC G. Predictors of noise annoyance in noisy and quiet urban streets. *Sci. Total, Environ.* 2009; 407:3707–11
- RAMIREZ GONZALEZ, Alberto and DOMINGUEZ CALLE, Efraín Antonio. EL RUIDO VEHICULAR URBANO: PROBLEMÁTICA AGOBIANTE DE LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO. *Rev. acad. colomb. cienc. exact. fis. nat.* [en línea]. 2011, vol.35, n.137 [2017-03-20], pp.509-530. Disponible en: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082011000400009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000400009&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0370-3908.
- RECIO, A., CARMONA, R., LINARES, C., ORTÍZ, C., BANEGAS, J.R., DÍAZ, J. Efectos del ruido urbano sobre la salud: estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid. Instituto de Salud Carlos III, Escuela Nacional de Sanidad: Madrid, 2016.
- ROMO OROZCO, J. M.; MARMOLEJO DUARTE, Carlos Ramiro; DAUMAL DOMÈNECH, Francesc de Paula. ¿Está compensado el sobre coste de una mejor insonorización? Una evaluación para el mercado residencial barcelonés. *Ciudad y territorio, estudios territoriales*, 2016, vol. 48, no 189, p. 471-486.
- ROMO OROZCO, José M. Evaluación de los costes y beneficios de la implementación del aislamiento acústico en el mercado residencial de nueva planta en Barcelona. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC). Modalidad Tesis Doctoral, 2013
- ROUGERON, Claude. *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. Reverte, 1977
- SALINAS, Jorge. ACUSTICA ARQUITECTONICA.
- SOBREIRA SEOANE, Manuel A., ACUSTICA ARQUITECTONICA, implicaciones del CTE-DB HR y del reglamento de la ley del ruido. Sonitum, Universidad de Vigo, Vigo-España, 2006.
- SORIANO, Jaime Ramis, et al. Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. En *Materiales de construcción*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 2010. p. 133-143.
- Spiegel K, Leproult R, Van Cauter E. Impact of sleep debt on physiological rhythms. *Rev. Neurol. (Paris)* 2003; 159(11 Suppl):6S11–20.

- Stanfeld S, Matheson M, Noise Pollution: non-auditory effects on health. Br Medbull. 2003; 68: 243-57
- Suater A. Noise and Its effects. Administrative Conference of the United States; 1991; Disponible en: <http://www.nonoise.org/library/suter/suter.htm#effects>
- TABOADA, Daniel Bernabéu. Efectos del Ruido sobre la Salud. *Documento*: [http://www.juristasruidos.org/Documentacion/Ruido\\_y\\_Salud.pdf](http://www.juristasruidos.org/Documentacion/Ruido_y_Salud.pdf), 2007.
- TOBÍAS A, DÍAZ J, SÁEZ M et ál. Use of Poisson regression and Box-Jenkins models to evaluate the short-term effects of environmental noise levels on daily emergency admissions in Madrid, Spain. Eur. J. Epidemiol. 2001; 17:765–71.
- TOBÍAS A, RECIO A, DÍAZ J et ál. Noise levels and cardiovascular mortality: a case-crossover analysis. Eur. J. Preven. Cardiology, 2015; 22:496-502.
- TOBÍAS A, RECIO A, DÍAZ J et ál. Does traffic noise influence respiratory mortality. Eur. Resp. J. 2014; 44:797-9.
- TOBÍAS A, DÍAZ J, RECIO A et ál. Traffic Noise and Risk of Mortality from Diabetes. Acta Diabetolog. 2014; 52:187-8.
- TOBÍAS A, RECIO A, DÍAZ J et ál. Health impact assessment of traffic noise in Madrid (Spain). Environ. Res. 2015; 137:136-40.
- UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA, facultad de arquitectura, diseño y urbanismo. Tablas de absorción [en línea]. Montevideo: Magdalena Deambrosi [2017-01-12]. Disponible en: <http://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-acustico/wp-content/blogs.dir/27/files/2012/02/Tablas-de-Absorcion.pdf>
- URIBE FORERO, Tomas Fernando. Mampostería no estructural. 1 ed. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios. 2010. 64 p
- WHO, Guidelines for Community Noise. Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela ed. 1999
- XIE, Yongqun, et al. Manufacture and properties of ultra-low density fibreboard from wood fibre. BioResources, 2011, vol. 6, no 4, p. 4055-4066.